



TUGAS AKHIR - SF 141501

ANALISIS STRUKTUR NANO BATU APUNG LOMBOK MENGGUNAKAN METODE BET (*BRUNAUER-EMMETT-TELLER*)

Mega Putri Kusumaningtyas
NRP 1112 100 035

Dosen Pembimbing
Prof. Dr. Darminto, M.Sc

Departemen Fisika
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017



TUGAS AKHIR - SF 141501

Analisis Struktur Nano Batu Apung Lombok Menggunakan Metode BET (*Brunauer- Emmett-Teller*)

Mega Putri Kusumaningtyas
NRP 1112 100 035

Dosen Pembimbing
Prof. Dr. Darminto, M.Sc

Departemen Fisika
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017



FINAL PROJECT - SF 141501

Nano Structure Analysis of Lombok Pumice Using BET (Brunauer-Emmet- Teller) Method

Mega Putri Kusumaningtyas
NRP 1112 100 035

Advisor
Prof. Dr. Darminto, M.Sc

Department of Physics
Faculty of Mathematics and Natural Sciences
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017

**ANALISIS STRUKTUR NANO BATU APUNG
LOMBOK MENGGUNAKAN METODE BET
(BRUNAUER-EMMETT-TELLER)**

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Sains
pada
Bidang Fisika Material
Departemen Fisika
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

MEGA PUTRI KUSUMANINGTYAS
NRP. 1112 100 035

Disetujui oleh Tim Pembimbing Tugas Akhir

Prof. Dr. Darminto, M. Sc
NIP. 19600303.198701.1.002

(.....)



ANALISIS STRUKTUR NANO BATU APUNG LOMBOK MENGGUNAKAN METODE BET (BRUNAUER-EMMETT-TELLER)

Nama : Mega Putri Kusumaningtyas
NRP : 1112100035
Departemen : Fisika, FMIPA-ITS
Pembimbing : Prof. Dr. Darminto, M. Sc

Abstrak

Analisis pori dan struktur mikro pada batu apung Lombok telah dilakukan. Metode BET digunakan dalam menentukan diameter pori, luas permukaan spesifik, dan volume pori batu apung. Sementara karakterisasi SEM dilakukan untuk mengetahui morfologi struktur mikro batu apung. Batu apung yang berasal dari tiga lokasi berbeda di pulau Lombok digerus untuk diperoleh ukuran partikel yang lebih kecil. Melalui karakterisasi, diketahui batu apung Lombok memiliki fasa quartz, corundum, dan hematite, serta memiliki ukuran diameter pori 4,4 nm untuk kedalaman 0,3 m dan 1,5 nm untuk kedalaman 3,0 m. Luas permukaan spesifik batu apung adalah $22,8 \times 10^4 \text{ cm}^2/\text{g}$ untuk kedalaman 0,3 m dan $58,7 \times 10^4 \text{ cm}^2/\text{g}$ untuk kedalaman 3,0 m. Sedangkan volume pori batu apung Lombok pada kedalaman 0,3 m dan 3,0 m secara berturut-turut adalah sebesar 0,0135 ml/g dan 0,0227 ml/g. Berdasarkan hasil analisis struktur mikro, batu apung dalam bentuk serbuk tidak mengubah morfologi batuan itu sendiri.

Kata kunci: analisis pori, batu apung Lombok, BET, struktur mikro.

NANO STRUCTURE ANALYSIS OF LOMBOK PUMICE USING BET (BRUNAUER-EMMET- TELLER) METHOD

Name : Mega Putri Kusumaningtyas
NRP : 1112100035
Department : Physics, FMIPA-ITS
Advisor : Prof. Dr. Darminto, M. Sc

Abstract

Analysis on the pore and the microstructure of Lombok pumice has been successfully performed. BET method was used to determine the pore size, specific surface area and pore volume of pumice. Meanwhile, SEM was used to determine the morphology of pumice microstructure. Pumice selected from three different locations from Lombok Island was crushed to obtain smaller particle sizes. Based on the results of characterization, it was known that pumice has quartz, corundum, and hematite phases, and the average pore size was 4.4 nm and 1.5 nm respectively for pumice collected from the quarry's depth of 0.3 m and 3.0 m. The specific surface area of Lombok pumice from the corresponding area are $22,8 \times 10^4 \text{ cm}^2/\text{g}$ and $58,7 \times 10^4 \text{ cm}^2/\text{g}$; and the pore volume are 0,0135 ml/g and 0,0227 ml/g. Based on the microstructure, it was concluded that pulverized pumice did not affect its microstructure.

Keywords: BET, Lombok pumice, microstructure, pore analysis.

KATA PENGANTAR

Puji syukur atas kehadiran Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir dalam rangka memenuhi salah satu syarat meraih gelar sarjana sains dengan judul “**Analisis Struktur Nano Batu Apung Lombok Menggunakan Metode BET (Brunauer-Emmett-Teller)**”. Sholawat serta salam senantiasa penulis curahkan kepada junjungan besar Nabi Muhammad SAW yang telah menuntun kami dari kelamnya zaman ketidaktahuan menuju cahaya terang ilmu pengetahuan.

Kesempurnaan hanya milik Allah SWT, kekurangan adalah milik manusia. Penulis menyadari keterbatasan baik selama proses penelitian hingga penyusunan tugas akhir. Tanpa bantuan berbagai pihak yang telah mencurahkan pikiran, ilmu, tenaga, serta materi, tugas akhir ini menjadi kurang maksimal. Oleh karena itu, penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih kepada:

1. Orang tua, kakak, dan adik, serta keluarga besar yang telah memberikan dukungan moral dan materi.
2. Almh. Ibu Markidah, yang telah memberikan nilai-nilai moral kehidupan, pangan, dan papan selama penulis mengambil data di Lombok pada 17-24 Januari 2016.
3. Prof. Dr. Darminto, M. Sc selaku dosen pembimbing yang telah memberikan arahan dan bimbingan beserta ilmu, baik ilmu pengetahuan maupun ilmu kehidupan, dan dukungan materi dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
4. Dr.rer.nat Bintoro Anang Subagyo, S.Si., M.Si selaku dosen wali yang telah membimbing dan memberikan pencerahan selama kuliah di Jurusan Fisika ITS.
5. Dr. Yono Hadi Pramono M.Eng., selaku kepala jurusan Fisika FMIPA ITS.

6. Yunita Dwi Anggraeni dan Firda Arifinia, *beloved best friend*, yang telah memberikan kehangatan dalam suka duka selama ini.
7. Nadhilah Savetri, Ning Rosianah, dan Elis Nuraini yang telah bersedia menjalin tali silaturahmi persaudaraan selama penulis menempuh pendidikan di jurusan Fisika.
8. Ade Lina Nur Fadlillah dan Putra Dewangga Candra Seta, teman seperjuangan kerja praktek dan tugas akhir.
9. Rachmad Januar dan Puspita Fahmi Ariani, tim kerja praktek Petrokimia.
10. Aloysius Niko dan Achmad Maulana (*special request*).
11. Labrotarorium Elkimkor Teknik Kimia ITS yang telah membantu karakterisasi SAA, Teknik Material Metalurgi ITS yang telah membantu karakterisasi XRD, dan Laboratorium Energi LPPM ITS yang telah membantu karakterisasi SEM.
12. Teman-teman Fisika 2012 dan pihak-pihak lainnya yang telah membantu penulis selama menempuh pendidikan di jurusan Fisika ITS hingga penyusunan tugas akhir.

Dengan segala kerendahan hati, penulis berharap kritik dan saran guna perkembangan penelitian batu apung yang lebih baik. Penulis berharap tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi masyarakat Lombok pada khususnya, dan masyarakat Indonesia pada umumnya dalam mengelola mineral batu apung secara bijak. Amiin.

Surabaya, Januari 2017
Penulis

Mega Putri Kusumaningtyas

DAFTAR ISI

| | |
|------------------------|------|
| Halaman Judul..... | i |
| Cover Page..... | ii |
| Lembar Pengesahan..... | iii |
| Abstrak | iv |
| <i>Abstract</i> | v |
| Kata Pengantar | vi |
| Daftar Isi..... | viii |
| Daftar Gambar..... | x |
| Daftar Tabel | xi |
| Daftar Lampiran..... | xii |

BAB I PENDAHULUAN

| | |
|---------------------------------|---|
| 1.1 Latar Belakang..... | 1 |
| 1.2 Rumusan Masalah..... | 3 |
| 1.3 Batasan Masalah | 3 |
| 1.4 Tujuan Penelitian | 3 |
| 1.5 Manfaat Penelitian | 3 |
| 1.6 Sistematika Penulisan | 4 |

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

| | |
|-----------------------------------------------|----|
| 2.1 Batu Apung..... | 5 |
| 2.1.1 Material Piroklastik Batu Apung..... | 6 |
| 2.1.2 Klasifikasi Batu Apung | 7 |
| 2.1.3 Komposisi Kimia Batu Apung..... | 8 |
| 2.1.4 Penambangan Batu Apung | 9 |
| 2.2 BET (<i>Brunauer-Emmet-Teller</i>)..... | 14 |
| 2.3 Karakteristik Pori | 15 |
| 2.4 Struktur Mikro | 16 |

BAB III METODE PENELITIAN

| | |
|----------------------------------|----|
| 3.1 Bahan dan Peralatan..... | 17 |
| 3.2 Tahap-tahap Penelitian | 18 |
| 3.3 Karakterisasi | 18 |

| | |
|--------------------------------------------|-----------|
| 3.4 Diagram Alir Penelitian..... | 21 |
| BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN | |
| 4.1 Analisis Struktur Mikro | 23 |
| 4.2 Analisis Pori | 25 |
| 4.2.1 Diameter | 26 |
| 4.2.2 Luas Permukaan Spesifik | 27 |
| 4.2.3 Volume | 29 |
| 4.3 Analisis Difraksi..... | 30 |
| BAB V KESIMPULAN | |
| 5.1 Kesimpulan..... | 33 |
| 5.2 Saran..... | 33 |
| DAFTAR PUSTAKA | 35 |
| LAMPIRAN | 37 |
| BIOGRAFI PENULIS..... | 63 |

DAFTAR GAMBAR

| | | |
|-------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Gambar 2.1 | (a) Pertambangan batu apung di desa Lendang Nangka, (b) batu apung dimasukkan ke dalam mesin untuk dicuci dan dipilah berdasarkan ukuran, masyarakat sekitar menyebut mesin tersebut <i>molen</i> (c) batu apung siap dijual kepada distributor..... | 13 |
| Gambar 3.1 | Batu apung dari lokasi III | 17 |
| Gambar 3.2 | Alat karakterisasi SAA (<i>Surface Area Analyzer</i>). .. | 19 |
| Gambar 3.3 | Diagram Alir Penelitian | 21 |
| Gambar 4.1 | Batu apung Lombok lokasi III; (a) batu apung utuh, (b) dalam bentuk serbuk, serta morfologi struktur mikro pori batu apung serbuk pada perbesaran; (c) 800, (d) 1.000, dan (e) 4.000 | 24 |
| Gambar 4.2 | Hasil <i>X-Ray Diffraction</i> batu apung Lombok lokasi III | 31 |

DAFTAR TABEL

| | | |
|------------------|---------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabel 2.1 | Klasifikasi material piroklastik berdasarkan ukuran butir | 6 |
| Tabel 2.2 | Perbedaan antara batuan beku intrusif dan ekstrusif... | 8 |
| Tabel 2.3 | Komposisi kimia batu apung | 9 |
| Tabel 2.4 | Data potensi ketersediaan penambangan batu apung di kabupaten Lombok Timur..... | 11 |
| Tabel 4.1 | Nilai diameter pori batu apung | 27 |
| Tabel 4.2 | Nilai luas permukaan spesifik hasil uji dan hasil perhitungan | 28 |
| Tabel 4.3 | Volume pori total batu apung Pulau Lombok | 30 |

DAFTAR LAMPIRAN

| | | |
|-------------------|------------------------------------------------------------------------------|----|
| Lampiran 1 | Data Hasil Uji BET | 37 |
| Lampiran 2 | Mikrografi SEM..... | 58 |
| Lampiran 3 | Hasil Analisis Kualitatif dengan Menggunakan <i>Software Match!</i> | 62 |

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pada saat gunung berapi meletus, magma yang terdapat pada kerak bumi bagian bawah akan keluar. Magma yang keluar akan menghasilkan deposit bahan lepas berupa endapan material piroklastik. Endapan tersebut terjadi ketika magma yang keluar dari mulut gunung berapi mengalami perbedaan suhu dan tekanan sehingga terjadi kristalisasi. Material pada lava secara efektif memisahkan diri berdasarkan ukuran dan densitasnya, dimana material dengan densitas lebih besar akan tenggelam ke bagian bawah aliran lava. Sebaliknya, material dengan densitas lebih kecil dibandingkan air akan mengambang di permukaan lava membentuk pergerakan massa, seperti *pumice* (batu apung). Batu apung merupakan batuan piroklastik yang termasuk dalam golongan batuan beku. Namun, beberapa ahli juga mengatakan bahwa batuan piroklastik termasuk ke dalam batuan sedimen. Menurut (Wentworth, 1922), batuan piroklastik termasuk batuan beku pada saat terjadi erupsi dan termasuk batuan sedimen pada saat pengendapan lava yang mengalir. Batuan piroklastik yang sangat panas pada saat terjadinya erupsi, akan mengendap dan membentuk padatan batuan yang solid. Batuan ini memiliki ciri berwarna putih hingga abu-abu tua, ringan, dan memiliki porositas tinggi sehingga berpotensi sebagai adsorben maupun sebagai katalis.

Batu apung dalam bidang industri telah lama digunakan dalam proses *washing* pakaian berbahan jeans. Jumlahnya yang berlimpah di alam, menjadikan batu apung sebagai salah satu potensi material alam paling diminati. Persebaran batu apung yang ada di Indonesia cukup beragam, mulai dari barat wilayah Indonesia hingga ke wilayah timur. Di wilayah timur terdapat Pulau Lombok dan Maluku yang menjadi salah satu wilayah persebaran batu apung. Di Pulau Lombok lebih tepatnya di Kabupaten Lombok Timur terdapat produksi batu apung mulai

dari penambangan, pengolahan, pemilahan, hingga pengemasan batu apung untuk didistribusikan. Seiring berkembangnya zaman, kebutuhan akan batu apung semakin beragam. Untuk memenuhi permintaan pasar, para pengusaha batu apung memberikan variasi diameter batu apung, yaitu 2-3 cm, 2-4 cm, 2-5 cm, hingga 3-5 cm. Namun, berdasarkan Undang-undang Mineral dan Batubara (UU Minerba) pasal 102 dan 103 (UU Minerba No. 4, 2009) tentang larangan ekspor mineral mentah, mendorong kementerian ESDM mengeluarkan Peraturan Menteri (Permen) No. 1 tahun 2014 (Peraturan Menteri ESDM, 2014) mengenai peningkatan nilai tambah mineral. Hal ini mengakibatkan pengusaha batu apung memerlukan inovasi pengolahan guna meningkatkan nilai jual batu apung. Oleh karena itu, perlu dilakukan analisis mengenai karakteristik batu apung Lombok terlebih dahulu untuk mengetahui manfaat batu apung yang lebih luas.

Penelitian sebelumnya yang telah dilakukan oleh (Ridha, 2016) menjelaskan karakteristik batu apung dalam ukuran skala mikro. Maka dalam penelitian ini dilakukan analisis karakteristik batu apung dalam ukuran skala nano, dimana material nano berbasis teknologi berkembang pesat saat ini dengan berbagai manfaat bagi manusia. Berat batu apung yang ringan dan memiliki rongga-rongga yang besar menjadi kelebihan tersendiri dimana batu apung mudah dijadikan dalam bentuk serbuk.

Material nano mempunyai ukuran partikel antara 1-100 nm yang dapat diaplikasikan pada peralatan di berbagai bidang dengan ukuran lebih kecil sehingga praktis dan efektif. Dengan ukuran partikel nano, dapat meningkatkan luas permukaan per unit volume dan jumlah atom atau molekul didalamnya. Sehingga dengan ukuran yang lebih kecil dapat menghasilkan kapasitas maksimal dan berdampak pada keefektifan suatu peralatan. Luas permukaan per unit volume partikel material tersebut dapat diketahui melalui uji SAA (*Surface Area Analyzer*). Uji SAA berfungsi dalam menentukan diameter dan volume pori material dengan menggunakan prinsip adsorpsi gas yang biasanya adalah gas nitrogen, argon, atau helium. Evaluasi hasil uji karakteristik

tersebut dapat dilakukan menggunakan teori BET (*Brunauer-Emmett-Teller*) dengan pendekatan kekuatan ikatan pada permukaan adsorben dan pada lapisan adsorbat monolayer yang disebut sebagai konstanta c (Hwang and Barron, 2011). Hasil evaluasi kemudian digunakan untuk menentukan ukuran diameter butir material sehingga dapat dianalisis kemampuan adsorpsinya. Untuk mengetahui karakteristik lainnya seperti perbandingan antara morfologi struktur partikel batu apung serbuk dengan partikel batu apung kubus, maka digunakan uji SEM (*Scanning Electron Microscope*). Sedangkan untuk mengetahui kandungan fasa, digunakan uji menggunakan XRD (*X-Ray Diffraction*) untuk kemudian diolah menggunakan *software Match!*.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang tersebut, penulis ingin mengetahui bagaimana cara mengetahui morfologi struktur mikro, diameter pori, luas permukaan spesifik, volume pori, dan fasa batu apung dalam bentuk serbuk.

1.3 Batasan Masalah

Untuk menghindari kesalahpahaman dan meluasnya masalah yang akan diteliti, maka penulis membatasi masalah yang berkaitan dengan penelitian pada batu apung, yaitu : morfologi struktur mikro, diameter pori, luas permukaan spesifik, volume pori, dan fasa batu apung dalam bentuk serbuk.

1.4 Tujuan Penelitian

Adapun yang ingin dicapai penulis dalam penelitian ini antara lain, mengetahui morfologi struktur mikro, diameter pori, luas permukaan spesifik, volume pori, dan fasa batu apung dalam bentuk serbuk.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah untuk memberikan informasi tentang morfologi struktur mikro, diameter pori, luas

permukaan spesifik, volume pori, dan fasa batu apung dalam bentuk serbuk. Selain itu, dari penelitian ini diharapkan mampu meningkatkan nilai batu apung sebagai bahan komposit alam yang dapat diolah sebelum diekspor.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan tugas akhir ini, tersusun atas 6 bab yaitu; Bab 1: Pendahuluan yang berisi latar belakang masalah, perumusan masalah, batasan masalah, tujuan, manfaat penelitian, dan sistematika penulisan. Bab 2: Tinjauan Pustaka berisi mengenai kajian pustaka yang digunakan pada tugas akhir. Bab 3: Metode Penelitian berisi bahan dan peralatan, tahap-tahap penelitian, karakterisasi yang dilakukan, dan diagram alir penelitian. Kesimpulan dan saran yang merupakan jawaban dari tujuan penelitian ini serta saran pengembangan untuk penelitian selanjutnya tentang batu apung. Daftar Pustaka yang berisi sumber referensi yang digunakan dalam Tinjauan Pustaka.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Batu Apung

Batu apung merupakan batuan alam hasil dari aktivitas gunung berapi yang mengandung buih dan biasanya disebut juga sebagai batuan gelas vulkanik silikat (Pulungan, 2013). Adanya aktivitas gunung berapi tak lepas dari wilayah negara Indonesia yang berada di wilayah cincin berapi pasifik (*Ring of Fire*), sehingga menjadikan Indonesia sebagai salah satu negara dengan kekayaan alam dan mineral melimpah. Namun, disisi lain hal ini menimbulkan bencana alam yang sering terjadi di Indonesia seperti gempa bumi dan letusan gunung berapi. Aktivitas gunung berapi yang terjadi hingga saat ini dibedakan menjadi beberapa tipe. Hal ini tergantung pada komposisi magma, terutama karakter dari volatile yang sebagian besar adalah air dimana pada saat keluar (erupsi) menjadi uap/gas. Gas yang umum pada saat erupsi adalah karbondioksida dan sulfur (Foster, 1969).

Menurut para ahli geologi, magma adalah cairan silikat kental yang terbentuk secara alamiah, bertemperatur tinggi antara 1.500-2.500°C yang dapat bergerak dan terdapat pada kerak bumi bagian bawah. Magma tersusun atas beberapa volatile (air, CO₂, chlorine, fluorin, iron, sulfur, dan lain sebagainya) serta material batuan bersifat non-volatile (non gas, pembentuk mineral yang lazim dijumpai dalam batuan beku) yang menyatu dalam larutan akibat adanya tekanan. Ketika gunung berapi meletus, maka magma akan keluar (akibat densitas yang lebih rendah dibandingkan batuan) membawa material padat dan cair yang disebut lava. Lava akan mengalir mengikuti topografi daratan dan mengendapkan material dengan densitas dan ukuran tertentu yang disebut batuan piroklastik (*volcanic rock*). Endapan ini terbentuk akibat terjadinya kontak langsung antara aliran piroklastik yang sangat panas dengan atmosfer pada saat erupsi.

2.1.1 Material Piroklastik Batu Apung

Batu apung merupakan material piroklastik hasil pembekuan magma. Material piroklastik adalah material endapan hasil erupsi atau letusan gunung berapi (Schmid, 1981). Material ini sering disebut bahan hamburan berupa batuan yang dikeluarkan pada saat terjadi erupsi gunung berapi (Kusumosubroto, 2013). Menurut H. Williams, F.J. Turner dan C. M. Gilbert (1954), material piroklastik dibedakan berdasarkan ukuran butirannya, yaitu bom, lapili, dan abu.

Tabel 2.1 Klasifikasi material piroklastik berdasarkan ukuran butir menurut H. Williams, F.J. Turner dan C. M. Gilbert (1954)

| Material Piroklastik | Ukuran Butir |
|----------------------|--------------|
| Bom (bongkah) | > 32 mm |
| Lapili | 4 - 32 mm |
| Abu | < 4 mm |

Sedangkan berdasarkan kejadiannya, material piroklastik dibedakan menjadi tiga, yaitu piroklastik jatuhan, piroklastik surge, dan piroklastik aliran (Compton, 1985).

a. Piroklastik jatuhan (*airfall deposits*)

Yaitu material piroklastik yang jatuh dari hasil erupsi gunung berapi yang bersifat eksplosif. Erupsi eksplosif gunung berapi terjadi ketika magma keluar dari gunung berapi ke permukaan bumi yang diakibatkan tekanan gas tinggi sehingga disertai ledakan.

b. Piroklasik surge (*base surge deposits*),

Yaitu material piroklastik yang diakumulasikan oleh awan yang dimulai dari erupsi eksplosif sehingga menimbulkan dampak badai yang berisi material yang menyapu daratan.

- c. Piroklastik aliran (*pyroclastic flow deposits produced by eplotions*).

Terbentuk dari aliran debris panas dan guncangan awan. Aliran debris merupakan suatu bentuk pergerakan massa yang dapat menimbulkan bencana (Kusumosubroto, 2013).

2.1.2 Klasifikasi Batu Apung

Batuan merupakan mineral yang terkumpul dan dapat memperlihatkan sifat-sifat yang tidak dimiliki mineral jika berdiri sendiri. Berdasarkan proses yang terjadi, batuan dibedakan menjadi tiga, yaitu batuan sedimen, batuan metamorf, dan batuan beku. Batuan sedimen terbentuk akibat pengendapan material hasil erosi yang bergerak oleh karena adanya faktor lingkungan seperti air, angin, dan es sehingga terakumulasi menjadi endapan material. Batuan sedimen terbentuk melalui tiga cara, yaitu pelapukan batuan lain, pengendapan karena aktivitas biogenik, dan pengendapan dari larutan. Batuan ini memiliki ciri berlapis akibat terjadinya pengulangan endapan. Contoh dari batuan sedimen adalah batu kapur, batu pasir, dan lempung.

Batuan metamorf adalah batuan hasil perubahan dari suatu batuan yang sudah ada sebelumnya, baik itu batuan beku maupun batuan sedimen. Oleh karena itu, batuan ini juga sering disebut sebagai batuan malihan. Batuan asal (batuan beku/sedimen) termalihkan akibat adanya suhu dan tekanan yang tinggi sehingga batuan mengalami perubahan fisika dan kimia. Contoh dari batuan ini adalah marmer kuarsit, dan genes.

Batuan beku terbentuk akibat proses kristalisasi dan pembekuan magma, baik di bawah permukaan maupun di atas permukaan. Jika cairan magma dierupsi secara tiba-tiba, maka akan terbentuk busa/buih dari gelembung-gelembung kecil yang akan cepat berubah menjadi padat membentuk batu apung yang terang seperti kaca. Kebanyakan batuan

beku merupakan gabungan dari kuarsa dan kristal yang disebut *porphyritic* (Foster, 1969). Batuan ini dibedakan menjadi dua berdasarkan perbedaan letak pembentukannya, yaitu batuan beku intrusif (*intrusive rocks*) dan batuan beku ekstrusif (*extrusive rocks*). Batuan beku intrusif yaitu batuan beku yang membeku di bawah permukaan atau di dalam kerak bumi dan dikelilingi oleh batuan asal (*country rock*). Sedangkan batuan ekstrusif terbentuk secara cepat di permukaan kerak sebagai akibat dari pencairan sebagian batuan dalam mantel dan kerak. Berdasarkan perbedaan batuan beku intrusif dan ekstrusif yang ada pada Tabel 2.2, maka batu apung termasuk ke dalam batuan beku jenis ekstrusif.

Tabel 2.2 Perbedaan antara batuan beku intrusif dan ekstrusif (Foster, 1969)

| Batuan Beku Intrusif | Batuan Beku Ekstrusif |
|------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|
| Magma mendingin secara perlahan | Magma mendingin secara cepat |
| Batuan berbutir kasar, seperti granit, gabro, atau diorite | Batuan memiliki butir lebih halus |
| Mudah diidentifikasi dengan mata telanjang | Sulit membedakan antara berbagai jenis batuan ekstrusif |

2.1.3 Komposisi Kimia Batu Apung

Batu apung memiliki komposisi kimia seperti yang ada dalam Tabel 2.3. Senyawa kimia mayoritas adalah SiO_2 dengan prosentase sebesar 58,62%. Oleh karena batu apung terbentuk dari pembekuan secara cepat material erupsi gunung berapi, maka batu apung mengandung banyak pori dari skala makro hingga ke skala mikro. Karakteristik batu apung meliputi; pori-pori batu apung yang pada umumnya terpisah antara satu sama lain, batu apung merupakan

material yang ringan, dapat mengapung di air dalam jangka waktu yang lama, dan memiliki permeabilitas yang rendah serta memiliki karakteristik isolasi yang tinggi. Kandungan Al_2O_3 yang ada pada batu apung membuat batu apung menjadi tahan terhadap temperatur tinggi (Binici et al., 2012)

Tabel 2.3 Komposisi kimia batu apung (Ridha, 2016)

| Komposisi | Prosentase (%) |
|-------------------------|-----------------------|
| SiO_2 | 58,62 |
| Al_2O_3 | 12,08 |
| Fe_2O_3 | 12,25 |
| CaO | 6,64 |
| TiO_2 | 1,43 |
| K_2O | 7,87 |

2.1.4 Penambangan Batu Apung

Gunung Rinjani yang terdapat di Pulau Lombok merupakan salah satu gunung berapi yang mempunyai andil dalam menghasilkan batu apung. Erupsi gunung Rinjani beberapa tahun silam, menghasilkan material endapan yang tersebar hingga ke kabupaten Lombok Timur. Hal ini dipengaruhi oleh angin dan aliran sungai yang membawa aliran piroklastik hingga ke pesisir laut timur. Keberadaan tambang batu apung di kabupaten Lombok Timur sendiri menjadi banyak ketika pada tahun 1996-1997. Hal tersebut dikarenakan peluang untuk mendirikan perusahaan batu apung besar, terlebih dalam hal perizinan yang tergolong mudah. Pengusaha melihat dengan jeli potensi batu apung dalam bidang industri pakaian jeans sebagai *stone wash*, dimana pada periode tahun tersebut, pakaian jeans sedang populer. Hal tersebut melatarbelakangi masyarakat Lombok tertarik untuk membuka penambangan batu apung. Sehingga

pada akhirnya batu apung tak hanya menarik minat pebisnis dalam negeri, namun hingga luar negeri seperti Jepang. Bahkan batu apung yang berasal dari Lampung serta merta diolah dipulau Lombok untuk memenuhi permintaan ekspor tersebut.

Namun enam tahun belakangan pesona batu apung mulai menurun. Minat penggunaan pakaian berbahan kain katun lebih besar dibandingkan dengan jeans. Hal tersebut membuat perusahaan jeans membatasi pasokan batu apung ke perusahaan mereka. Terlebih setelah terbitnya Permen ESDM No. 1 untuk menguatkan Undang-undang Mineral dan Batubara No 4. Tahun 2009 pasal 103 ayat 1 yang berisi: *“Kewajiban untuk melakukan pengolahan dan pemurnian di dalam negeri dimaksudkan, antara lain, untuk meningkatkan dan mengoptimalkan nilai tambang dari produk, tersedianya bahan baku industri, penyerapan tenaga kerja, dan peningkatan penerimaan negara”* serta pasal 102: *“Nilai tambah dalam ketentuan ini dimaksudkan untuk meningkatkan produk akhir dari usaha pertambangan atau pemanfaatan terhadap mineral ikutan”* (UU Minerba No. 4 Tahun 2009).

Disamping itu, lahan yang biasanya menghasilkan batu apung sudah jarang ditemukan seiring perkembangan zaman pemerintah membangun infrastruktur. Kini beberapa tambang batu apung di Kabupaten Lombok Timur masih beroperasi meskipun tidak seramai dulu. Beberapa pengusaha mengemukakan bahwa saat ini mereka tidak bisa menentukan secara pasti kapan mereka dapat mengemas batu apung yang telah diproses. Sebab, pemesanan batu apung sendiri tergantung dari permintaan distributor yang sekaligus sebagai penyedia karung untuk mengemas. Padahal jika dilakukan penelitian lebih jauh, potensi batu apung Lombok dapat dimaksimalkan dengan pengolahan terlebih dahulu sebelum diperjualbelikan atau diekspor. Seperti manfaat batu apung sebagai *filler* limbah logam

berat, penukar ion, dan lain sebagainya. Sehingga manfaatnya akan lebih besar khususnya bagi kesejahteraan masyarakat Lombok. Dalam Tabel 2.4 menunjukkan ketersediaan bahan galian batu apung Lombok yang masih cukup besar.

Tabel 2.4 Data potensi ketersediaan penambangan batu apung di kabupaten Lombok Timur (ESDM Kabupaten Lombok Timur)

| Lokasi | Deskripsi Batu Apung | Ketersediaan Deposit | | |
|------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|--------------|----------------------------|
| | | Awal (m ³) | Saat ini (%) | Saat ini (m ³) |
| Desa Lendangjaran, Desa Jenggik, Kec. Montong Gading | Berwarna putih kekuningan, kemerahan, dan putih keabuan | 4.698 | 80 | 3.751 |
| Desa Ambung, Desa Rempung, Kec. Masbagik | Berwarna putih keabuan, banyak pengotor tras, ukuran butir 1-20 cm | 50.400 | 50 | 25.200 |
| Desa Bagik Payung, Kec. Suralaga | Berwarna putih kecoklatan, keras, berpori, ukuran butir 5-20 cm | 84.135 | 30 | 25.240 |
| Desa Geres Lauk, Kec. Labuhan Haji | Berwarna putih keabuan hingga kecoklatan. Berbentuk pasir, kerikil, hingga bongkahan | 1.209.101 | 40 | 483.640 |

| | | | | |
|-----------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|----|---------|
| Desa Ijobalit, Kec. Labuhan Haji | Berwarna putih kekuningan. Berbentuk pasir hingga kerikil | 1.363.302 | 40 | 545.321 |
| Desa Dasan Baru-Lempak Daya, Desa Korleko, Kec. Labuhan Haji | Berwarna putih keabuan hingga kecoklatan. Berbentuk pasir, kerikil, hingga bongkahan | 70.004 | 40 | 28.002 |
| Desa Dasan Lekok, Desa Korleko, Kec. Labuhan Haji | Berwarna putih keabuan hingga kecoklatan. Berbentuk pasir, kerikil, hingga bongkahan | 18.400 | 20 | 3.680 |

Berdasarkan data tersebut, peluang pemanfaatan mineral batu apung dalam penelitian cukup besar. Terlebih mengingat batu apung memiliki struktur ringan dan berpori sehingga mempunyai kemampuan adsorpsi yang tinggi. Kemampuan adsorpsi yang tinggi ini memiliki banyak manfaat terutama dalam bidang konstruksi dimana batu apung dapat dijadikan agregat bahan baku beton ringan. Dengan ukuran pori yang kecil, batu apung memiliki luas permukaan yang besar pula. Hal ini tentu membuat batu apung memiliki manfaat lainnya, seperti sebagai *ion exchanger*. Dengan luas permukaannya yang besar itu, maka batu apung dapat memudahkan terjadinya penyerapan ion-ion dalam proses pertukaran ion. Serta peran SiO_2 yang terkandung dalam batu apung, dapat menjadikan batu apung sebagai salah satu material alternatif pembuatan zeolit sintesis (Mahaddilla and Putra, 2014).



(a)

(b)



(c)

Gambar 2.1 (a) Pertambangan batu apung di desa Lendang Nangka, (b) batu apung dimasukkan ke dalam mesin untuk dicuci dan dipilah berdasarkan ukuran, masyarakat sekitar menyebut mesin tersebut *molen* (c) batu apung siap dijual kepada distributor

2.2 BET (*Brunauer-Emmet-Teller*)

Pada tahun 1938 tiga orang ilmuwan, yaitu Stephen Brunauer, P.H. Emmett, dan Edward Teller berhasil melakukan penelitian tentang adsorpsi gas multilayer. Teori ini menjelaskan bahwa energi diserap melalui adanya induksi dipol kedalam gas non-polar sehingga terjadi ikatan antara lapisan teradsorpsi (Brunauer et al., 1938). Teori ini merupakan lanjutan dari teori Langmuir, dimana teori Langmuir terbatas hanya pada satu lapisan saja (monolayer).

Teori BET dapat digunakan setelah dilakukan uji menggunakan alat SAA (*Surface Area Analyzer*). Alat ini berfungsi untuk menentukan diameter dan volume pori, serta luas permukaan spesifik material. Berdasarkan prinsip adsorpsi-desorpsi gas adsorbat. Mekanisme adsorpsi gas tersebut berupa penyerapan gas (nitrogen, argon dan helium) pada permukaan suatu bahan padat yang akan dikarakterisasi pada suhu tetap. Jika diketahui volume gas (nitrogen, argon, atau helium) yang dapat diserap oleh suatu permukaan padatan pada suhu dan tekanan tertentu dan diketahui secara teoritis luas permukaan dari satu molekul gas yang diserap, maka luas permukaan total padatan tersebut dapat dihitung. Luas permukaan merupakan jumlah pori pada setiap satuan luas dari sampel. Sementara luas permukaan spesifik adalah luas permukaan per satuan gram (Perwira, 2014). Untuk menghitung luas padatan tersebut, teori BET inilah yang digunakan dengan menggunakan persamaan 2.1.

$$S = \frac{X_m L_{av} A_m}{M_v} \quad (2.1)$$

S yaitu luas permukaan total, X_m yaitu kapasitas monolayer yang dapat diperoleh melalui persamaan 2.2, L_{av} yaitu bilangan Avogadro ($6,023 \times 10^{23}$ molekul/mol), A_m yaitu luas penampang adsorbat dengan nilai $0,162 \text{ nm}^2$ menggunakan adsorbat nitrogen, dan M_v yaitu volume molar gas ideal sebesar $22,4 \text{ liter/mol}$.

Sementara kapasitas monolayer dapat diketahui menggunakan *slope* dan *intercept* dari hasil uji.

$$X_m = \frac{1}{s+i} \quad (2.2)$$

Pada analisis luas permukaan menggunakan uji SAA, sering digunakan gas nitrogen. Hal ini disebabkan tersedianya gas nitrogen dalam kemurnian yang tinggi dan dapat berinteraksi dengan kuat dengan kebanyakan padatan. Biasanya, interaksi antara fasa gas dan padat lemah, sehingga permukaan didinginkan menggunakan nitrogen cair untuk memperoleh jumlah adsorpsi yang terdeteksi. Selanjutnya, tekanan relatif yang lebih rendah dibandingkan dengan tekanan atmosfer didapatkan dalam kondisi setengah vakum. Setelah lapisan adsorpsi terbentuk, gas nitrogen kemudian dihilangkan atau dibebaskan dari sampel dengan cara dipanaskan (Hwang and Barron, 2011).

2.3 Karakteristik Pori

International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC) membagi material pori menjadi tiga jenis berdasarkan diameter pori yang dimiliki material tersebut, yaitu: material mikropori, material mesopori, dan material makropori. Material mikropori adalah material yang memiliki diameter pori kurang dari 2 nm. Material mesopori adalah material yang memiliki diameter antara 2-50 nm. Sedangkan material makropori adalah material dengan diameter pori lebih 50 nm (Alfaruqi, 2008).

Klasifikasi material pori tersebut bergantung pada ukuran pori. Ukuran pori (*pore size*) dapat didefinisikan sebagai jarak antara dua batas pori (lebar pori berbentuk celah) atau jarak antara rongga yang terdapat pada batuan (Rouquerol et al., 1994). Jarak tersebut mempengaruhi jumlah pori tiap satuan luas material. Apabila jarak antara rongga semakin besar, maka luas permukaan material semakin kecil. Luas permukaan adalah luasan yang ditempati satu molekul adsorbat yang merupakan

fungsi langsung dari luas permukaan material (Zulichatun dkk., 2015).

2.4 Struktur Mikro

Pengamatan struktur mikro berguna untuk menganalisis ukuran butir, batas butir, komposisi kimia, dan lain sebagainya. Pengamatan ini penting sebagai acuan penelitian selanjutnya pada suatu material. Teknik pengamatan struktur mikro beraneka ragam, mulai dari *Scanning Electron Microscope* (SEM), *Energy Dispersive Spectroscopy* (EDS) atau *Auger Electron Spectroscopy* (AES) hingga *Transmission Electron Microscope* (TEM). Pada penelitian ini, teknik pengamatan struktur mikro menggunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM) yang ada di Laboratorium Energi LPPM ITS.

Hasil dari pengamatan adalah berupa gambar pencitraan baik pada bagian permukaan maupun bagian dalam dari suatu material. Untuk material yang berasal dari alam, pengamatan ini sangat berguna untuk mengetahui morfologi struktur material tersebut serta mengetahui sebaran unsur yang dikandung material (Ismoyo, 2009).

BAB III

METODE PENELITIAN

Dalam penelitian ini digunakan variasi berupa lokasi pengambilan batu apung berdasarkan ketinggian, yaitu 0-30 msl, 300-500 msl, dan 500-1000 msl. Perbedaan lokasi ini berdasarkan pada jarak antara lokasi penggalian dengan gunung berapi. Telah diketahui bahwa batu apung berasal dari material vulkanik yang diletuskan oleh gunung berapi. Batu apung yang diletuskan bersama material lain kemudian jatuh mengikuti aliran sungai dan arah angin. Batu apung yang berada di ketinggian 0-30 msl mempunyai fisik lebih gelap dibandingkan dengan batu apung di ketinggian 300-500 msl dan 500-1000 msl. Sehingga nantinya dapat dianalisis pengaruh dari ketinggian tersebut terhadap kandungan fasa dan kemampuan adsorpsi batu apung.



Gambar 3.1 Batu apung dari lokasi III

3.1 Bahan dan Peralatan

Pada penelitian ini digunakan sampel batu apung yang berasal dari 3 lokasi berbeda di Lombok, yaitu di Desa Ijobalit Kecamatan Labuhan Haji (lokasi I) dan Desa Lendang Nangka Kecamatan Masbagik (lokasi II), Kabupaten Lombok Timur.

Sementara satu lokasi berada di Kabupaten Lombok Tengah yaitu di Desa Karang Sidemen Kecamatan Batukliang Utara (lokasi III). Dari masing-masing lokasi dibedakan menjadi dua bagian berdasarkan kedalaman, yaitu pada kedalaman $\pm 0,3$ meter dan kedalaman $\pm 3,0$ meter. Sehingga sampel yang digunakan dalam penelitian ini berjumlah 6 sampel. Peralatan yang digunakan dalam mengkarakterisasi antara lain: mortar, akuades, kertas saring, gelas ukur, oven dan pengaduk kaca.

3.2 Tahap-tahap Penelitian

Untuk memperoleh hasil yang diinginkan, sampel di-*treatment* terlebih dahulu dengan langkah-langkah sebagai berikut:

1. Penggerusan dan Penghalusan Sampel

Sampel digerus dari bentuknya semula yang berupa bongkahan batu. Sampel yang telah digerus kemudian dihaluskan atau dikecilkan ukuran butirnya dengan menggunakan mortar.

2. Pencucian dan Pengeringan Sampel

Masing-masing sampel dicuci untuk menghilangkan kandungan NaCl menggunakan akuades dengan perbandingan akuades : berat sampel adalah 1 liter : 200 gram. Sampel yang telah dicuci kemudian dikeringkan menggunakan oven.

3.3 Karakterisasi

Usai dikeringkan, sampel lantas dikarakterisasi. Karakterisasi utama yang digunakan adalah *Surface Area Analyzer* (SAA) terhadap keenam sampel. Sementara uji SEM dan XRD dilakukan terhadap sampel dari lokasi III pada kedalaman $\pm 0,3$ m.

1. SAA (*Surface Area Analyzer*)

Surface Area Analyzer bekerja pada dua prinsip, yaitu *degassing* dan *analyzing*. Persiapan utama sampel sebelum

dianalisis menggunakan SAA adalah dengan menghilangkan gas-gas yang terserap (*degassing*) dalam kondisi vakum selama 3 jam. Sampel kemudian dimasukkan ke batang kuarsa, lalu diletakkan sedemikian rupa pada *holder station*. Nitrogen cair lalu dituang kedalam *dewar* (tabung) untuk kemudian proses analisis dapat dijalankan menggunakan *Quantachrome NovaWin*. Setelah dilakukan analisis, diperoleh data berupa ukuran diameter pori, luas permukaan spesifik, dan volume pori batu apung. Berat sampel yang digunakan dalam uji ini tidak lebih dari 0,1 gram. Selain metode BET, dapat diketahui pula diameter dan volume pori batu apung melalui metode BJH (*Barrett-Joyner-Halenda*) dan HK (*Horvath dan Kavazoe*).



Gambar 3.2 Alat karakterisasi SAA (*Surface Area Analyzer*)

2. SEM (*Scanning Electron Microscope*)

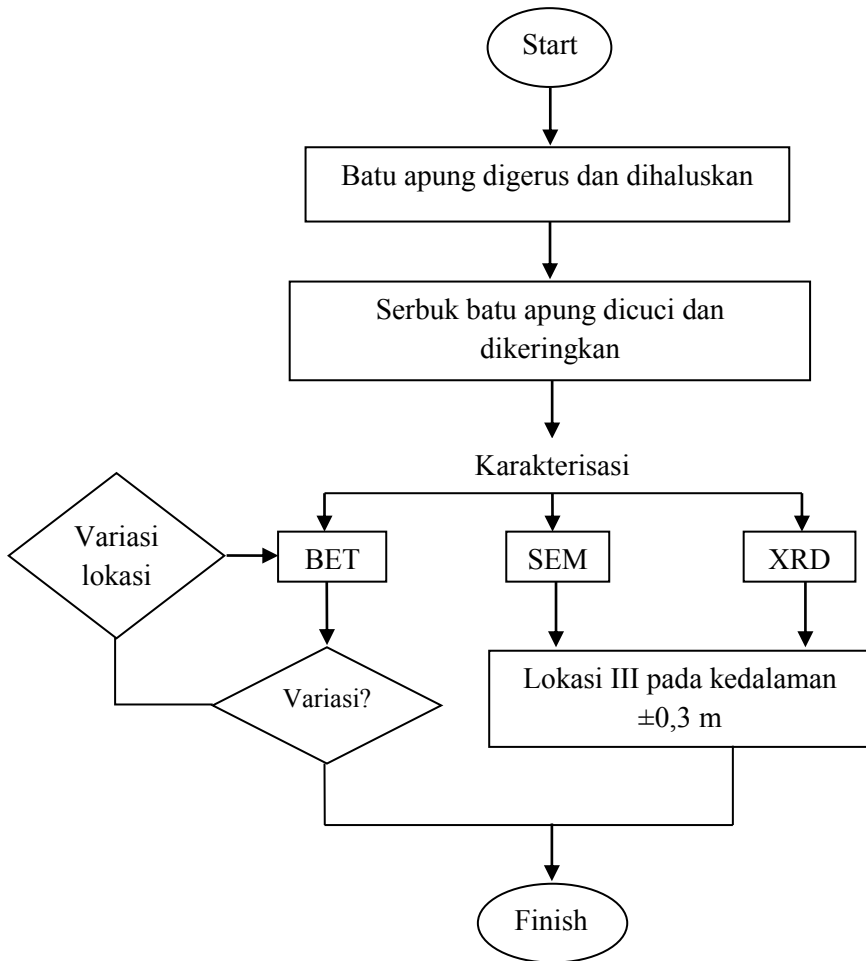
Scanning Electron Microscope merupakan salah satu alat karakterisasi yang berfungsi untuk mengetahui morfologi, topografi, komposisi, dan informasi kristalografi (misal:

cacat) dari suatu material. Oleh karena sampel bukan merupakan material logam, maka sampel berupa serbuk batu apung di *coating* terlebih dahulu. Setelah itu sampel dimasukkan ke dalam instrumen SEM Zeiss EVO MA10 yang berada di Laboratorium Energi LPPM ITS untuk kemudian diketahui hasilnya. Sampel yang diuji merupakan sampel yang berasal dari lokasi III dengan kedalaman $\pm 0,3$ m.

3. XRD (*X-Ray Diffraction*)

X-Ray Diffraction adalah peralatan karakterisasi yang digunakan untuk mengidentifikasi fasa suatu material. Prinsip kerjanya adalah dengan memanfaatkan hamburan elastis foton *sinar-x* yang mengenai sampel uji dengan sudut pantulan tertentu yang dapat divariasi. Sampel uji yang dikarakterisasi adalah sampel yang berasal dari lokasi III dengan kedalaman $\pm 0,3$ m. Puncak-puncak yang dihasilkan dari pengukuran ini kemudian dianalisis menggunakan *software Match!*. Dari analisis puncak-puncak tersebut dapat diketahui fasa batu apung.

3.4 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.3 Diagram Alir Penelitian

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB IV

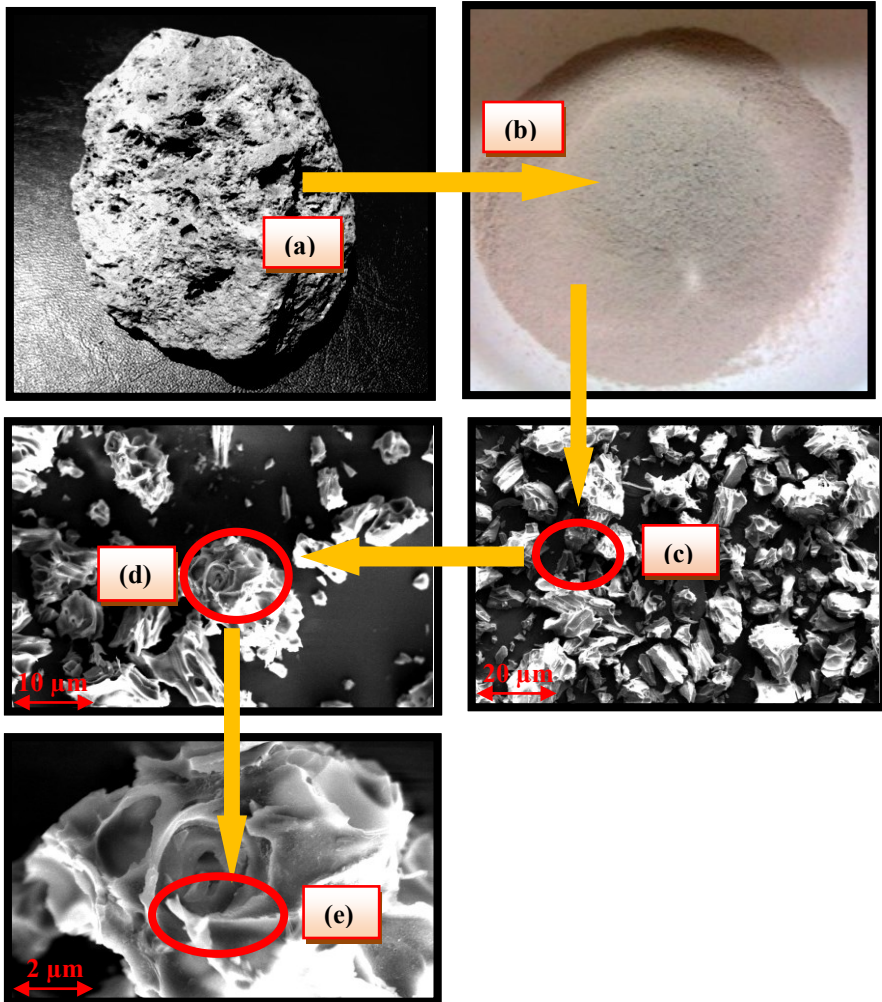
ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisis Struktur Mikro

Struktur mikro batu apung dalam bentuk serbuk memiliki morfologi seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.1. Penjelasan Gambar 4.1 dapat dirunut sebagai berikut; point (a) merupakan wujud batu apung dari lokasi III dengan pori tersebar di setiap sisi. Batu apung tersebut lantas digerus/dihancurkan sehingga menjadi serbuk seperti yang tampak pada point (b). Point (c) menunjukkan pencitraan dari partikel-partikel kecil batu apung yang diketahui melalui analisis morfologi. Sementara itu, point (d) merupakan perbesaran salah satu titik untuk mengetahui pori dengan lebih jelas, untuk kemudian dilakukan perbesaran kembali guna mengetahui batas pori. Tampak batas pori batu apung pada point (e), dimana pada batas pori ini terdapat pori-pori lagi didalamnya.

Keberadaan pori dalam pori menunjukkan bahwa ukuran pori batu apung yang sangat kecil hingga orde nano. Hal ini dijelaskan pada subbab 4.2, dimana diketahui melalui analisis pori bahwa ukuran diameter pori batu apung Lombok berada dalam orde nano. Ukuran diameter yang sangat kecil ini tidak dapat dilihat melalui hasil mikrografi, dikarenakan spesifikasi SEM yang hanya dapat melihat perbesaran partikel hingga orde mikro. Namun, berdasarkan perbesaran hingga 4.000 pada Gambar 4.1 (e) cukup menjelaskan bahwa ukuran pori batu apung sangat kecil.

Melalui analisis struktur mikro ini pula diketahui bahwa morfologi batu apung dalam bentuk serbuk serupa dengan bentuk morfologi batu apung dalam bentuk padat (kubus) pada penelitian (Ridha, 2016), dimana batu apung mempunyai pori baik yang berukuran besar maupun kecil yang tersebar merata di semua permukaan. Sehingga dapat diketahui penggerusan batu apung menjadi ukuran partikel yang lebih kecil tidak mengubah morfologi batuan tersebut.



Gambar 4.1 Batu apung Lombok lokasi III; (a) batu apung utuh, (b) dalam bentuk serbuk, serta morfologi struktur mikro pori batu apung serbuk pada perbesaran; (c) 800, (d) 1.000, dan (e) 4.000

Pada penelitian sebelumnya yang telah dilakukan oleh (Ridha, 2016) tentang mikrografi, diketahui bahwa distribusi pori merata hampir pada seluruh bagian sampel. Meratanya pori ini sesuai dengan luas permukaan keenam sampel yang besar, yaitu hingga puluhan meter persegi untuk setiap gram batu apung. Sementara itu, berdasarkan Gambar 4.1 (e), dapat dilihat bahwa kerapatan material penyusun batuan kecil dikarenakan keberadaan pori yang besar dan merata. Sehingga hal ini menyebabkan batu apung bersifat ringan, rapuh, dan keras. Pori yang besar tersebut dikarenakan sampel yang diuji berasal dari lokasi I pada kedalaman $\pm 0,3$ m, yang berada jauh dari Gunung Rinjani. Material yang mengandung buih akibat letusan gunung berapi, terbawa hingga ke pesisir timur wilayah Lombok hingga kemudian mengendap dan menghasilkan pori batu apung yang besar.

4.2 Analisis Pori

Pengkajian tentang analisis pori batu apung yang meliputi diameter, luas permukaan spesifik, dan volume pori, berkaitan dengan pengujian menggunakan *Surface Area Analyzer* (SAA). Keenam sampel diuji dalam bentuk serbuk yang beratnya kurang dari 0,1 gram pada suhu 77,3 K selama 3 jam dengan menggunakan gas nitrogen sebagai adsorbat. Gas nitrogen diperoleh melalui nitrogen cair yang berubah menjadi fasa gas pada suhu kamar. Prinsip dari SAA adalah *degassing* dan *analyzing*, seperti yang sudah dijelaskan pada subbab 3.3. Kemudian kuantitas karakteristik pori dapat diketahui secara otomatis menggunakan *software* (*Quantachrome NovaWin-Data Acquisition and Reduction*) pada komputer yang terhubung dengan alat.

Data hasil pengujian, salah satunya berupa luas permukaan spesifik, dapat diketahui dengan menggunakan metode BET pada setiap sampel kemudian dibandingkan dengan hasil perhitungan. Perhitungan luas permukaan spesifik menggunakan persamaan 2.1 dan 2.2. Digunakan teori BET, karena metode ini memiliki

keunggulan dibandingkan teori sebelumnya yaitu teori Langmuir, dimana secara konseptual metode BET merupakan perkembangan dari teori Langmuir. Teori BET dapat diterapkan untuk setiap lapisan (*multilayer*) dan secara fisik molekul gas akan menyerap pada padatan sampai lapisan tak berhingga (Hwang and Barron, 2011).

4.2.1 Diameter

Ukuran diameter pori batuan berkaitan dengan kemampuan pori dalam menyerap suatu gas maupun fluida. Ukuran diameter pori juga mempengaruhi nilai densitas dan porositas batuan. Nilai diameter pori yang semakin besar menyebabkan densitas (kerapatan material penyusun) berkurang. Jumlah dan ukuran pori (rongga) yang besar menghasilkan ruang untuk fluida mengalir sehingga kemampuan adsorpsi semakin besar. Kemampuan adsorpsi yang besar ini dapat dilihat pula dari volume pori yang dapat dialiri fluida ataupun gas. Semakin besar diameter pori batu apung, maka semakin besar pula volume pori dan porositasnya.

Pada penelitian ini, diameter rata-rata pori dari keenam sampel batu apung berada dalam orde nano. Tabel 4.1 menunjukkan nilai diameter pori lokasi I pada kedalaman $\pm 0,3$ m adalah yang paling besar dibandingkan dengan lokasi II dan III pada kedalaman yang sama. Merujuk pada lokasi penggalian batu apung yang berada 0-30 msl sehingga jauh dari Gunung Rinjani menjadi faktor terbentuknya pori yang besar pada batu apung saat letusan gunung api Rinjani terjadi.

Batu apung hasil letusan gunung api Rinjani yang memiliki densitas kecil terbawa oleh angin ke arah timur lalu mengendap. Sedangkan densitas yang lebih besar terlebih dulu mengendap di sekitar gunung Rinjani. Sehingga dapat dilihat pada Tabel 4.1 dimana diameter pori pada kedalaman $\pm 3,0$ m lebih kecil dibandingkan pada kedalaman $\pm 0,3$ m,

kecuali pada lokasi II. Hal ini memunculkan sifat homogenitas batuan sehingga nilai diameter pori pada kedalaman berbeda memiliki nilai saling mendekati.

Tabel 4.1 Nilai diameter pori batu apung

| Lokasi | Kedalaman (m) | Diameter pori (nm) |
|--------|---------------|--------------------|
| I | $\pm 0,3$ | 7,6 |
| | $\pm 3,0$ | 1,6 |
| II | $\pm 0,3$ | 1,2 |
| | $\pm 3,0$ | 1,4 |
| III | $\pm 0,3$ | 4,5 |
| | $\pm 3,0$ | 1,6 |

Berdasarkan hasil tersebut batu apung Lombok dapat diklasifikasikan ke dalam kelompok mesopori dan mikropori. Mesopori untuk batu apung yang berada pada kedalaman $\pm 0,3$ m dengan diameter pori $\pm 4,4$ nm dan mikropori untuk batu apung yang berada pada kedalaman $\pm 3,0$ m dengan diameter pori $\pm 1,5$ nm. Pengelompokkan batu apung tersebut sesuai dengan parameter pengelompokkan yang telah dijelaskan pada sub bab 2.3. Pada proses adsorpsi dan desorpsi menghasilkan nilai yang menunjukkan kemampuan batu apung dalam menyerap gas nitrogen melalui pori. Sehingga ukuran pori dapat diketahui melalui proses ini.

4.2.2 Luas Permukaan Spesifik

Luas permukaan adalah jumlah pori dalam setiap satuan luas sampel. Sementara, luas permukaan spesifik adalah perbandingan antara luas permukaan sampel dengan massa atom relatif adsorbat, dimana massa atom relatif nitrogen adalah 28,013 g. Hasil yang diinginkan adalah

kemampuan serapan dari batu apung terhadap gas nitrogen. Semakin besar nilai luas permukaan batu apung, maka semakin banyak keberadaan pori dalam satuan luas batu apung tersebut. Nilai luas permukaan spesifik pada lokasi I, II dan III di kedalaman $\pm 0,3$ m (Tabel 4.2) lebih kecil dibandingkan dengan nilai permukaan spesifik di kedalaman $\pm 3,0$ m. Hal ini menunjukkan semakin dalam galian batu apung, luas permukaan spesifik juga semakin besar. Hasil erupsi gunung berapi menghantarkan partikel-partikel batuan yang memiliki ukuran lebih kecil untuk mengendap hingga akhirnya menghasilkan deposit batu apung dengan buih-buih gelas. Deposit tersebut hasil dari endapan partikel-partikel yang pembentukannya dipengaruhi oleh waktu. Sampel batu apung yang telah bertahun-tahun mengendap di bawah permukaan tanah, mempunyai jumlah pori yang lebih banyak dibandingkan dengan yang dekat dengan permukaan. Tentunya hal ini sebanding dengan densitas batu apung yang besar, sehingga batu apung dapat mengendap. Densitas yang besar tersebut menandakan bahwa ukuran diameter pori batu apung yang kecil.

Tabel 4.2 Nilai luas permukaan spesifik hasil uji dan hasil perhitungan

| Lokasi | Kedalaman (m) | Luas permukaan spesifik (cm ² /g) | | Ralat (%) |
|--------|---------------|----------------------------------------------|---------------------|-----------|
| | | Hasil uji | Perhitungan | |
| I | $\pm 0,3$ | $2,703 \times 10^4$ | $2,702 \times 10^4$ | 0,041 |
| | $\pm 3,0$ | $56,59 \times 10^4$ | $56,57 \times 10^4$ | 0,039 |
| II | $\pm 0,3$ | $46,61 \times 10^4$ | $46,6 \times 10^4$ | 0,018 |
| | $\pm 3,0$ | $59,53 \times 10^4$ | $59,51 \times 10^4$ | 0,025 |
| III | $\pm 0,3$ | $19,23 \times 10^4$ | $19,23 \times 10^4$ | 0,035 |
| | $\pm 3,0$ | $59,92 \times 10^4$ | $59,91 \times 10^4$ | 0,026 |

Nilai luas permukaan spesifik hasil perhitungan diperoleh menggunakan persamaan (2.1) metode BET. Dapat dilihat dalam Tabel 4.2, nilai luas permukaan spesifik antara hasil uji dengan hasil perhitungan hampir sama. Hal ini didukung oleh koreksi hasil data perhitungan berupa ralat untuk mengetahui seberapa besar kesalahan perhitungan dalam prosentase. Dari keenam sampel, nilai rata-rata ralat perhitungan adalah sebesar 0,031%. Dan nilai ralat terendah ada pada lokasi II kedalaman $\pm 0,3$ m yaitu sebesar 0,018%.

Sementara itu, besarnya nilai luas permukaan spesifik juga mempengaruhi porositas batu apung, dimana semakin besar luas suatu permukaan batuan, maka porositasnya akan semakin kecil. Hal ini disebabkan jumlah pori yang ada dalam batuan semakin banyak sehingga jarak antar pori semakin rapat. Kerapatan pori tersebut mengakibatkan kemampuan adsorpsi batu apung berkurang. Pada Tabel 4.2 ditunjukkan nilai luas permukaan spesifik batu apung pada kedalaman $\pm 0,3$ m lebih kecil dibandingkan pada kedalaman $\pm 3,0$ m. Sehingga batu apung pada kedalaman $\pm 3,0$ m berpotensi sebagai adsorben yang baik.

4.2.3 Volume

Volume pori batu apung menunjukkan volume ruang yang ada pada setiap batu apung. Hal ini berkaitan dengan kapasitas muat ruang batu apung dalam menyerap adsorbat berupa fluida maupun gas, seperti gas nitrogen. Berdasarkan hasil uji SAA, diperoleh nilai volume total dengan nilai yang kecil, yaitu dibawah 0,1 ml/g. Bahkan batu apung pada lokasi I dengan kedalaman $\pm 0,3$ m mempunyai kapasitas ruang terkecil yaitu 0,0051 ml/g. Dapat dilihat dalam Tabel 4.3, pada kedalaman galian $\pm 0,3$ m, lokasi III mempunyai volume pori sebesar 0,0216 ml/g. Selain itu, di lokasi yang sama pada kedalaman $\pm 3,0$ m, volume pori batu apung sebesar 0,0236 ml/g. Nilai ini merupakan yang terbesar dibandingkan dengan volume pori sampel lainnya meskipun

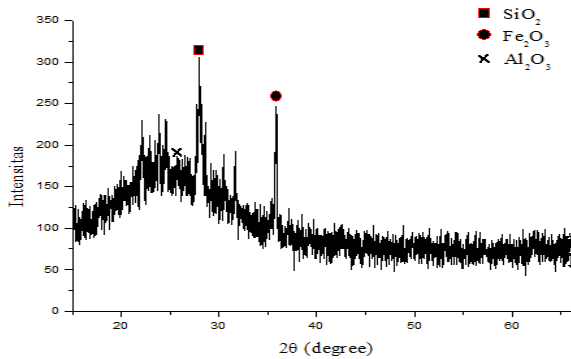
perbedaannya tidak signifikan. Perbedaan yang tipis ini dikarenakan satuan volume pori berada dalam orde mikro tiap satuan gram, sehingga volume pori total menjadi sangat kecil baik pada kedalaman $\pm 0,3$ m maupun $\pm 3,0$ m.

Tabel 4.3 Volume pori total batu apung Pulau Lombok

| Lokasi | Kedalaman (m) | Volume pori total (ml/g) |
|--------|---------------|--------------------------|
| I | $\pm 0,3$ | 0,0051 |
| | $\pm 3,0$ | 0,0230 |
| II | $\pm 0,3$ | 0,0139 |
| | $\pm 3,0$ | 0,0214 |
| III | $\pm 0,3$ | 0,0216 |
| | $\pm 3,0$ | 0,0236 |

4.3 Analisis Difraksi

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan sebelumnya, diketahui bahwa SiO_2 mendominasi komposisi batu apung yaitu sebesar 58,62%. Hal ini sesuai dengan sejarah batu apung yang berasal dari letusan gunung api dimana mayoritas pembawa material letusan adalah SiO_2 . Senyawa ini yang juga memberikan warna putih keabuan pada batu apung. Melalui *X-Ray Diffraction* yang telah dianalisis menggunakan *software Match!*, intensitas tertinggi ditunjukkan pada 2θ sebesar $28,02^\circ$, seperti pada Gambar 4.2. Ketika puncak tersebut dipilih, kemudian dilakukan *search match* dan muncul komposisi senyawa yang merupakan SiO_2 . Senyawa tersebut dipilih karena sesuai dengan puncak yang dipilih sebelumnya. Sementara kandungan oksida lainnya juga ditunjukkan dalam hasil *Match!*, seperti Al_2O_3 dan Fe_2O_3 dimana hal ini sesuai dengan komposisi batu apung Lombok lainnya yaitu Fe_2O_3 sebesar 12,25%, dan Al_2O_3 sebesar 12,08% yang diketahui melalui komposisi senyawa kimia yang tertera pada Tabel 2.3.



Gambar 4.2 Hasil *X-Ray Diffraction* batu apung Lombok lokasi III

Bentuk puncak yang landai pada Gambar 4.2 menunjukkan bahwa batu apung Lombok bersifat amorf sebagaimana ciri dari material amorf yaitu puncaknya lebar dan tidak runcing seperti pada material kristal. Sifat amorf batu apung ini merupakan akibat dari proses pembentukan batu apung itu sendiri. Letusan gunung api eksplosif menghamburkan material ke udara yang memiliki suhu yang jauh berbeda dibandingkan pada saat berada dalam perut bumi. Perubahan suhu tiba-tiba tersebut mengakibatkan material yang sebelumnya berupa cairan pekat (magma) akibat suhu tinggi di dalam bumi, kemudian berubah membentuk padatan pada saat dikeluarkan. Perubahan bentuk dari fase cair menjadi padat sangat cepat, sehingga tidak memberikan ruang bagi atom-atom untuk membentuk keteraturan. Ketidakteraturan struktur atom inilah yang menyebabkan terdapat puncak-puncak amorf seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.2. Namun, dapat diidentifikasi pula puncak-puncak, seperti SiO_2 dengan fasa quartz, Fe_2O_3 dengan fasa hematite, dan Al_2O_3 dengan fasa corundum.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Untuk menjawab rumusan masalah, telah dilakukan penelitian yang hasilnya dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Pori batu apung serbuk tersebar merata pada setiap sisi dengan ukuran yang beraneka ragam dan dibedakan oleh batas pori.
2. Pori batu apung Lombok dapat diklasifikasikan ke dalam kelompok mesopori dan mikropori. Mesopori untuk batu apung yang berada pada kedalaman $\pm 0,3$ m dengan diameter pori $\pm 4,4$ nm dan mikropori untuk batu apung yang berada pada kedalaman $\pm 3,0$ m dengan diameter pori $\pm 1,5$ nm.
3. Kemampuan adsorpsi batu apung dapat dilihat berdasarkan luas permukaan spesifiknya, dimana luas permukaan batu apung dalam penelitian ini adalah $\pm 22,84 \times 10^4 \text{ cm}^2/\text{g}$ untuk kedalaman $\pm 0,3$ m dan $\pm 58,68 \times 10^4 \text{ cm}^2/\text{g}$ untuk kedalaman $\pm 3,0$ m.
4. Volume pori batu apung Lombok pada kedalaman $\pm 0,3$ m dan $\pm 3,0$ m secara berturut-turut adalah sebesar $0,0135 \text{ ml/g}$ dan $0,0227 \text{ ml/g}$.
5. Berdasarkan hasil *X-Ray Diffraction*, diketahui bahwa batu apung memiliki fasa quartz, hematite, dan corundum.

5.2 Saran

Untuk pengetahuan lebih lanjut mengenai karakteristik batu apung Lombok, maka pada penelitian selanjutnya perlu dilakukan karakterisasi menggunakan TEM (*Transmission Electron Microscopy*).

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR PUSTAKA

- Alfaruqi, M. Hilmy., 2008. Pengaruh Konsentrasi Hidrogen. FT UI.
- Binici, H., Durgun, M. Y., 2012. Investigation Of Durability Properties Of Concrete Pipes Incorporating Blast Furnace Slag And Ground Basaltic Pumice As Fine Aggregates. Sharif University of Technology, 366-372.
- Brunauer, S., Emmett, P.H., Teller, E., 1938. Adsorption of gases in multimolecular layers. J. Am. Chem. Soc. 60, 309–319.
- Compton, Robert R., 1985. Geology in the Field. Stanford University.
- ESDM Kabupaten Lombok Timur.
- Foster, Robert J., 1969. General Geology. USA.
- Hwang, N., Barron, A.R., 2011. BET surface area analysis of nanoparticles. Connex. Proj. 1–11.
- Ismoyo, A.H., Parikin, dan Bandryana, B., 2009. Analisis Struktur Mikro dan Kristal Paduan ZrNbMoGe. BATAN, Bandung.
- Kusumosubroto, Haryono, 201. Aliran Debris dan Lahar. Yogyakarta.
- Mahaddilla, F.M., Putra, A., 2014. Pemanfaatan Batu Apung Sebagai Sumber Silika Dalam Pembuatan Zeolit Sintetis. J. Fis. Unand 2.
- Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia No.1 Tahun 2014 Tentang Peningkatan Nilai Tambah Mineral Melalui Kegiatan Pengolahan dan Pemurnian Mineral di Dalam Negeri.
- Perwira, G, 2014. Analisis Luas Permukaan Arang Aktif Dengan Menggunakan Metode BET (SAA). Semarang.
- Pulungan, A.H., 2013. Pembuatan Dan Karakterisasi Beton Polimer Dengan Menggunakan Campuran Batu Apung Dan Agregat Pasir Serta Tepung Ketan Dengan Perekat Poliester. Saintia Fis. 1.

- Ridha, 2016. Karakterisasi Batu Apung Lombok Sebagai Bahan Komposit Alami. ITS:Surabaya.
- Rouquerol, J., Avnir, D., Fairbridge, C.W., 1994. Recommendations for the Characterization of Porous Solids. Great Britain.
- Schmid, R., 1981. Descriptive Nomenclature and Classification of Pyroclastic Deposits and Fragments: Recommendations of the International Union of Geological Sciences Submission on the Systematics of Igneous Rocks. *Geology*. The Geological Society of America. Boulder. Vol. 9, 41-43.
- Undang-undang Republik Indonesia No. 4 Tahun 2009 Tentang Pertambangan Mineral dan Batubara.
- Wentworth, C.K., 1922. A scale of grade and class terms for clastic sediments. *J. Geol.* 30, 377–392.
- Williams, H., Turner, F.J., Gilbert, C.M., 1954, *Petrography. An Introduction to The Study of Rock in The Sections*. W. H. Freeman and Company, New York.
- Zulichatun, S., Wiayanti, A., Hidayah N. 2015. Analisis Luas Permukaan Zeolit Alam Termodifikasi Dengan Metode BET Menggunakan Surface Area Analyzer (SAA). Universitas Negeri Semarang, Semarang.

LAMPIRAN 1

DATA HASIL UJI BET

1. Diameter Pori Lokasi I pada Kedalaman $\pm 0,3$ m

Quantachrome NovaWin - Data Acquisition and
Reduction

for NOVA instruments ©1994-2007,
Quantachrome Instruments version 10.01

Analysis Report

Operator: ITS

Date: 2016/12/05 Operator: ITS

Date: 12/19/2016

Sample ID: Mega Fisika Filename:

C:\QCdata\Physisorb\16120501 1A Batu

Apung.qps

Sample Desc : Powder

Comment : 5 November 2016

Sample weight : 0.05762 g

Sample Volume : 0 cc

Outgas Time : 3.0 hrs

Outgas Temp : 300.0 C

Analysis gas : Nitrogen

Bath Temp : 77.3 K

Press. Tolerance : 0.050/2.000 (ads/des)

Equil time : 60/60 sec (ads/des)

Equil timeout : 120/120 sec (ads/des)

Analysis Time : 114.6 min

End of run : 2016/12/05 18:38:46

Instrument : Nova Station A

Cell ID : 26

Adsorbate Nitrogen

Temperature 77.350K

Molec. Wt. : 28.013 g

Cross Section : 16.200 Å²

Liquid Density : 0.808 g/cc
 Average Pore Size summary
 Average pore Diameter = 7.59128e+00 nm

2. Luas Permukaan Spesifik Lokasi I pada Kedalaman $\pm 0,3$ m

Quantachrome NovaWin - Data Acquisition and
 Reduction

for NOVA instruments ©1994-2007,
 Quantachrome Instruments version 10.01

Analysis Report

Operator:ITS

Date:2016/12/05 Operator:ITS

Date:12/19/2016

Sample ID: Mega Fisika Filename:

C:\QCdata\Physisorb\16120501 1A Batu

Apung.qps

Sample Desc : Powder

Comment : 5 November 2016

Sample weight : 0.05762 g

Sample Volume : 0 cc

Outgas Time : 3.0 hrs

Outgas Temp : 300.0 C

Analysis gas : Nitrogen

Bath Temp : 77.3 K

Press. Tolerance:0.050/2.000 (ads/des)

Equil time : 60/60 sec (ads/des)

Equil timeout : 120/120 sec (ads/des)

Analysis Time : 114.6 min

End of run : 2016/12/05 18:38:46

Instrument : Nova Station A

Cell ID : 26

Adsorbate Nitrogen

Temperature 77.350K

Molec. Wt. : 28.013 g
 Cross Section : 16.200 Å²
 Liquid Density : 0.808 g/cc
 Relative Pressure Volume @ STP $1/[W((P_o/P)-1)]$

| | P/Po | cc/g | |
|-------------|--------|---------|-------------|
| 9.60020e-02 | | -0.3233 | -2.6278e+02 |
| 1.52204e-01 | | 0.8470 | 1.6959e+02 |
| 2.02932e-01 | 1.5943 | | 1.2778e+02 |
| 2.53067e-01 | 2.0812 | | 1.3025e+02 |
| 3.02379e-01 | 2.4558 | | 1.4122e+02 |

BET summary

Slope = 1536.692
 Intercept = -2.482e+02
 Correlation coefficient, $r = 0.686374$
 C constant = -5.193
 Surface Area = 2.703 m²/g

3. Volume Pori Lokasi I pada Kedalaman ±0,3 m

Quantachrome NovaWin - Data Acquisition and Reduction

for NOVA instruments ©1994-2007,
 Quantachrome Instruments version 10.01

Analysis Report

Operator:ITS

Date:2016/12/05 Operator:ITS

Date:12/19/2016

Sample ID: Mega Fisika Filename:

C:\QCdata\Physisorb\16120501 1A Batu

Apung.qps

Sample Desc : Powder

Comment : 5 November 2016

Sample weight : 0.05762 g

Sample Volume : 0 cc

Outgas Time : 3.0 hrs

Outgas Temp : 300.0 C
 Analysis gas : Nitrogen
 Bath Temp : 77.3 K
 Press. Tolerance: 0.050/2.000 (ads/des)
 Equil time : 60/60 sec (ads/des)
 Equil timeout : 120/120 sec (ads/des)
 Analysis Time : 114.6 min
 End of run : 2016/12/05 18:38:46
 Instrument : Nova Station A
 Cell ID : 26
 Adsorbate Nitrogen
 Temperature 77.350K
 Molec. Wt. : 28.013 g
 Cross Section : 16.200 Å²
 Liquid Density : 0.808 g/cc
 Total Pore Volume summary
 Total Pore Volume
 Total pore volume = 5.129e-03 cc/g
 for pores smaller than 408.5 nm (Diameter)
 at P/Po = 0.99529

4. Diameter Pori Lokasi I pada Kedalaman ±3,0 m

Quantachrome NovaWin - Data Acquisition and
 Reduction
 for NOVA instruments ©1994-2007,
 Quantachrome Instruments version 10.01

Analysis Report

Operator:ITS
 Date:2016/03/20 Operator:ITS
 Date:3/28/2016
 Sample ID: Mega Fisika Filename:
 C:\QCDdata\Physisorb\16031901 1B.qps
 Sample Desc : Serbuk
 Comment : 19 Maret 2016
 Sample weight : 0.07292 g

Sample Volume : 0.44583 cc
 Outgas Time : 3.0 hrs
 Outgas Temp : 300.0 C
 Analysis gas : Nitrogen
 Bath Temp : 77.3 K
 Press. Tolerance : 0.050/2.000 (ads/des)
 Equil time : 60/60 sec (ads/des)
 Equil timeout : 120/120 sec (ads/des)
 Analysis Time : 196.1 min
 End of run : 2016/03/20 20:39:11
 Instrument : Nova Station A
 Cell ID : 26
 Adsorbate Nitrogen
 Temperature 77.350K
 Molec. Wt. : 28.013 g
 Cross Section : 16.200 Å²
 Liquid Density : 0.808 g/cc
 Average Pore Size summary
 Average pore Diameter = 1.62724e+00 nm

5. Luas Permukaan Spesifik Lokasi I pada Kedalaman ±3,0 m

Quantachrome NovaWin - Data Acquisition and
 Reduction
 for NOVA instruments ©1994-2007,
 Quantachrome Instruments version 10.01

Analysis Report

Operator:ITS

Date:2016/03/20

Operator:ITS

Date:3/28/2016

Sample ID: Mega Fisika

Filename:

C:\QCdata\Physisorb\16031901 1B.qps

Sample Desc : Serbuk

Comment : 19 Maret 2016

Sample weight : 0.07292 g

Sample Volume : 0.44583 cc
 Outgas Time : 3.0 hrs
 Outgas Temp : 300.0 C
 Analysis gas : Nitrogen
 Bath Temp : 77.3 K
 Press. Tolerance : 0.050/2.000 (ads/des)
 Equil time : 60/60 sec (ads/des)
 Equil timeout : 120/120 sec (ads/des)
 Analysis Time : 196.1 min
 End of run : 2016/03/20 20:39:11
 Instrument : Nova Station A
 Cell ID : 26
 Adsorbate Nitrogen
 Temperature 77.350K
 Molec. Wt. : 28.013 g
 Cross Section : 16.200 Å²
 Liquid Density : 0.808 g/cc
 Relative Pressure Volume @ STP $1/[W((P_o/P) - 1)]$

| P/Po | cc/g | |
|-------------|--------|------------|
| 9.87900e-02 | 1.4799 | 5.9265e+01 |
| 1.51663e-01 | 2.9777 | 4.8037e+01 |
| 2.02107e-01 | 4.2011 | 4.8242e+01 |
| 2.52438e-01 | 5.2621 | 5.1345e+01 |
| 3.03682e-01 | 5.7847 | 6.0322e+01 |

BET summary

Slope = 10.140
 Intercept = 5.140e+01
 Correlation coefficient, r = 0.137436
 C constant = 1.197
 Surface Area = 56.593 m²/g

6. Volume Pori Lokasi I pada Kedalaman ±3,0 m

Quantachrome NovaWin - Data Acquisition and
 Reduction
 for NOVA instruments ©1994-2007,

Quantachrome Instruments version 10.01

Analysis Report

Operator:ITS

Date:2016/03/20 Operator:ITS

Date:3/28/2016

Sample ID: Mega Fisika Filename:

C:\QCdata\Physisorb\16031901 1B.qps

Sample Desc : Serbuk

Comment : 19 Maret 2016

Sample weight : 0.07292 g

Sample Volume : 0.44583 cc

Outgas Time : 3.0 hrs

Outgas Temp : 300.0 C

Analysis gas : Nitrogen

Bath Temp : 77.3 K

Press. Tolerance : 0.050/2.000 (ads/des)

Equil time : 60/60 sec (ads/des)

Equil timeout : 120/120 sec (ads/des)

Analysis Time : 196.1 min

End of run : 2016/03/20 20:39:11

Instrument : Nova Station A

Cell ID : 26

Adsorbate Nitrogen

Temperature 77.350K

Molec. Wt. : 28.013 g

Cross Section : 16.200 Å²

Liquid Density : 0.808 g/cc

Total Pore Volume summary

Total Pore Volume

Total pore volume = 2.302e-02 cc/g

for pores smaller than 383.6 nm (Diameter)

at P/Po = 0.99499

8. Luas Permukaan Spesifik Lokasi II pada Kedalaman $\pm 0,3$ m

Quantachrome NovaWin - Data Acquisition and
Reduction

for NOVA instruments ©1994-2007,
Quantachrome Instruments version 10.01

Analysis Report

Operator:ITS

Date:2016/03/18 Operator:ITS

Date:3/28/2016

Sample ID: Mega Fisika Filename:

C:\QCdata\Physisorb\16031701 2A.qps

Sample Desc : Serbuk

Comment : 17 Maret 2016

Sample weight : 0.09188 g

Sample Volume : 0.32177 cc

Outgas Time : 3.0 hrs

Outgas Temp : 300.0 C

Analysis gas : Nitrogen

Bath Temp : 77.3 K

Press. Tolerance:0.050/2.000 (ads/des)

Equil time : 60/60 sec (ads/des)

Equil timeout : 120/120 sec (ads/des)

Analysis Time : 200.8 min

End of run : 2016/03/18 22:43:44

Instrument : Nova Station A

Cell ID : 26

Adsorbate Nitrogen

Temperature 77.350K

Molec. Wt. : 28.013 g

Cross Section : 16.200 Å²

Liquid Density : 0.808 g/cc

Relative Pressure Volume @ STP 1/[W((Po/P)-
1)]

P/Po

cc/g

| | | |
|-------------|--------|------------|
| 9.91050e-02 | 0.6997 | 1.2580e+02 |
| 1.52559e-01 | 1.5632 | 9.2145e+01 |
| 2.02445e-01 | 2.3351 | 8.6974e+01 |
| 2.53708e-01 | 2.7486 | 9.8960e+01 |
| 3.03720e-01 | 3.0704 | 1.1367e+02 |

BET summary

Slope = -36.095

Intercept = 1.108e+02

Correlation coefficient, r = 0.182135

C constant = 0.674

Surface Area = 46.610 m²/g

9. Volume Pori Lokasi II pada Kedalaman ±0,3 m

Quantachrome NovaWin - Data Acquisition and
Reduction

for NOVA instruments ©1994-2007,
Quantachrome Instruments version 10.01

Analysis Report

Operator:ITS

Date:2016/03/18 Operator:ITS

Date:3/28/2016

Sample ID: Mega Fisika Filename:

C:\QCdata\Physisorb\16031701 2A.qps

Sample Desc : Serbuk

Comment : 17 Maret 2016

Sample weight : 0.09188 g

Sample Volume : 0.32177 cc

Outgas Time : 3.0 hrs

Outgas Temp : 300.0 C

Analysis gas : Nitrogen

Bath Temp : 77.3 K

Press. Tolerance: 0.050/2.000 (ads/des)

Equil time : 60/60 sec (ads/des)

Equil timeout : 120/120 sec (ads/des)

Analysis Time : 200.8 min

End of run : 2016/03/18 22:43:44
 Instrument : Nova Station A
 Cell ID : 26
 Adsorbate Nitrogen
 Temperature 77.350K
 Molec. Wt. : 28.013 g
 Cross Section : 16.200 Å²
 Liquid Density : 0.808 g/cc
 Total Pore Volume summary
 Total Pore Volume
 Total pore volume = 1.393e-02 cc/g
 for pores smaller than 225.1 nm (Diameter)
 at P/Po = 0.99141

10. Diameter Pori Lokasi II pada Kedalaman ±3,0 m

Quantachrome NovaWin - Data Acquisition and
Reduction

for NOVA instruments ©1994-2007,
Quantachrome Instruments version 10.01

Analysis Report

Operator:ITS

Date:2016/03/21 Operator:ITS

Date:3/28/2016

Sample ID: Mega Fisika Filename:

C:\QCdata\Physisorb\16032101 2B.qps

Sample Desc : Serbuk

Comment : 21 Maret 2016

Sample weight : 0.06752 g

Sample Volume : 0.4268 cc

Outgas Time : 3.0 hrs

Outgas Temp : 300.0 C

Analysis gas : Nitrogen

Bath Temp : 77.3 K

Press. Tolerance: 0.050/2.000 (ads/des)

Equil time : 60/60 sec (ads/des)

Equil timeout : 120/120 sec (ads/des)
 Analysis Time : 188.2 min
 End of run : 2016/03/21 18:57:09
 Instrument : Nova Station A
 Cell ID : 26
 Adsorbate Nitrogen
 Temperature 77.350K
 Molec. Wt. : 28.013 g
 Cross Section : 16.200 Å²
 Liquid Density : 0.808 g/cc
 Average Pore Size summary
 Average pore Diameter = 1.43717e+00 nm

11. Luas Permukaan Spesifik Lokasi II pada Kedalaman ±3,0 m

Quantachrome NovaWin - Data Acquisition and
 Reduction
 for NOVA instruments ©1994-2007,
 Quantachrome Instruments version 10.01

Analysis Report
 Operator:ITS
 Date:2016/03/21 Operator:ITS
 Date:3/28/2016
 Sample ID: Mega Fisika Filename:
 C:\QCdata\Physisorb\16032101 2B.qps
 Sample Desc : Serbuk
 Comment : 21 Maret 2016
 Sample weight : 0.06752 g
 Sample Volume : 0.4268 cc
 Outgas Time : 3.0 hrs
 Outgas Temp : 300.0 C
 Analysis gas : Nitrogen
 Bath Temp : 77.3 K
 Press. Tolerance: 0.050/2.000 (ads/des)
 Equil time : 60/60 sec (ads/des)

Equil timeout : 120/120 sec (ads/des)
 Analysis Time : 188.2 min
 End of run : 2016/03/21 18:57:09
 Instrument : Nova Station A
 Cell ID : 26
 Adsorbate Nitrogen
 Temperature 77.350K
 Molec. Wt. : 28.013 g
 Cross Section : 16.200 Å²
 Liquid Density : 0.808 g/cc
 Relative Pressure Volume @ STP 1/[W((Po/P)-1)]

| P/Po | cc/g | |
|-------------|--------|------------|
| 9.89380e-02 | 1.5468 | 5.6796e+01 |
| 1.51700e-01 | 3.0679 | 4.6638e+01 |
| 2.02237e-01 | 4.3483 | 4.6646e+01 |
| 2.52508e-01 | 5.3979 | 5.0072e+01 |
| 3.03240e-01 | 6.0622 | 5.7442e+01 |

 BET summary
 Slope = 8.747
 Intercept = 4.975e+01
 Correlation coefficient, r = 0.132811
 C constant = 1.176
 Surface Area = 59.529 m²/g

12. Volume Pori Lokasi II pada Kedalaman ±3,0 m

Quantachrome NovaWin - Data Acquisition and
Reduction

for NOVA instruments ©1994-2007,
Quantachrome Instruments version 10.01

Analysis Report

for NOVA instruments ©1994-2007,
Quantachrome Instruments version 10.01

Analysis Report

Operator:ITS

Date:2016/03/19 Operator:ITS

Date:3/28/2016

Sample ID: Mega Fisika Filename:

C:\QCdata\Physisorb\16031801 3A.qps

Sample Desc : Serbuk

Comment : 18 Maret 2016

Sample weight : 0.07292 g

Sample Volume : 0 cc

Outgas Time : 3.0 hrs

Outgas Temp : 300.0 C

Analysis gas : Nitrogen

Bath Temp : 77.3 K

Press. Tolerance : 0.050/2.000 (ads/des)

Equil time : 60/60 sec (ads/des)

Equil timeout : 120/120 sec (ads/des)

Analysis Time : 209.1 min

End of run : 2016/03/19 20:26:36

Instrument : Nova Station A

Cell ID : 26

Adsorbate Nitrogen

Temperature 77.350K

Molec. Wt. : 28.013 g

Cross Section : 16.200 Å²

Liquid Density : 0.808 g/cc

Average Pore Size summary

Average pore Diameter = 4.49620e+00 nm

14. Luas Permukaan Spesifik Lokasi III pada Kedalaman ±0,3 m

Quantachrome NovaWin - Data Acquisition and
Reduction

for NOVA instruments ©1994-2007,
Quantachrome Instruments version 10.01

Analysis Report

Operator:ITS

Date:2016/03/19

Operator:ITS

Date:3/28/2016

Sample ID: Mega Fisika

Filename:

C:\QCdata\Physisorb\16031801 3A.qps

Sample Desc : Serbuk

Comment : 18 Maret 2016

Sample weight : 0.07292 g

Sample Volume : 0 cc

Outgas Time : 3.0 hrs

Outgas Temp : 300.0 C

Analysis gas : Nitrogen

Bath Temp : 77.3 K

Press. Tolerance: 0.050/2.000 (ads/des)

Equil time : 60/60 sec (ads/des)

Equil timeout : 120/120 sec (ads/des)

Analysis Time : 209.1 min

End of run : 2016/03/19 20:26:36

Instrument : Nova Station A

Cell ID : 26

Adsorbate Nitrogen

Temperature 77.350K

Molec. Wt. : 28.013 g

Cross Section : 16.200 Å²

Liquid Density : 0.808 g/cc

Relative Pressure Volume @ STP $1/[W((P_o/P)-1)]$

| P/Po | cc/g | |
|-------------|--------|------------|
| 1.01309e-01 | 0.9380 | 9.6159e+01 |
| 1.53009e-01 | 1.8325 | 7.8874e+01 |
| 2.03385e-01 | 2.5103 | 8.1377e+01 |
| 2.53921e-01 | 3.0210 | 9.0140e+01 |

3.04924e-01 2.9575 1.1868e+02
 BET summary
 Slope = 110.475
 Intercept = 7.059e+01
 Correlation coefficient, r = 0.557910
 C constant = 2.565
 Surface Area = 19.234 m²/g

15. Volume Pori Lokasi III pada Kedalaman ±0,3 m

Quantachrome NovaWin - Data Acquisition and
Reduction

for NOVA instruments ©1994-2007,
 Quantachrome Instruments version 10.01

Analysis Report

Operator:ITS

Date:2016/03/19 Operator:ITS

Date:3/28/2016

Sample ID: Mega Fisika Filename:

C:\QCdata\Physisorb\16031801 3A.qps

Sample Desc : Serbuk

Comment : 18 Maret 2016

Sample weight : 0.07292 g

Sample Volume : 0 cc

Outgas Time : 3.0 hrs

Outgas Temp : 300.0 C

Analysis gas : Nitrogen

Bath Temp : 77.3 K

Press. Tolerance: 0.050/2.000 (ads/des)

Equil time : 60/60 sec (ads/des)

Equil timeout : 120/120 sec (ads/des)

Analysis Time : 209.1 min

End of run : 2016/03/19 20:26:36

Instrument : Nova Station A

Cell ID : 26

Adsorbate Nitrogen
 Temperature 77.350K
 Molec. Wt. : 28.013 g
 Cross Section : 16.200 Å²
 Liquid Density : 0.808 g/cc
 Total Pore Volume summary
 Total Pore Volume
 Total pore volume = 2.162e-02 cc/g
 For pores smaller than 203.5 nm (Diameter)
 at P/Po = 0.99049

16. Diameter Pori Lokasi III pada Kedalaman ±3,0 m

Quantachrome NovaWin - Data Acquisition and
 Reduction
 for NOVA instruments ©1994-2007,
 Quantachrome Instruments version 10.01

Analysis Report

Operator:ITS

Date:2016/03/22 Operator:ITS

Date:3/28/2016

Sample ID: Mega Fisika Filename:

C:\QCdata\Physisorb\16032201 3B.qps

Sample Desc : Serbuk

Comment : 21 Maret 2016

Sample weight : 0.0737 g

Sample Volume : 0.43407 cc

Outgas Time : 3.0 hrs

Outgas Temp : 300.0 C

Analysis gas : Nitrogen

Bath Temp : 77.3 K

Press. Tolerance: 0.050/2.000 (ads/des)

Equil time : 60/60 sec (ads/des)

Equil timeout : 120/120 sec (ads/des)

Analysis Time : 190.7 min

End of run : 2016/03/22 18:11:55
 Instrument : Nova Station A
 Cell ID : 26
 Adsorbate Nitrogen
 Temperature 77.350K
 Molec. Wt. : 28.013 g
 Cross Section : 16.200 Å²
 Liquid Density : 0.808 g/cc

17. Luas Permukaan Spesifik Lokasi III pada Kedalaman ±3,0 m

Quantachrome NovaWin - Data Acquisition and
 Reduction
 for NOVA instruments ©1994-2007,
 Quantachrome Instruments version 10.01

Analysis Report

Operator:ITS

Date:2016/03/22 Operator:ITS

Date:3/28/2016

Sample ID: Mega Fisika Filename:

C:\QCdata\Physisorb\16032201 3B.qps

Sample Desc : Serbuk

Comment : 21 Maret 2016

Sample weight : 0.0737 g

Sample Volume : 0.43407 cc

Outgas Time : 3.0 hrs

Outgas Temp : 300.0 C

Analysis gas : Nitrogen

Bath Temp : 77.3 K

Press. Tolerance: 0.050/2.000 (ads/des)

Equil time : 60/60 sec (ads/des)

Equil timeout : 120/120 sec (ads/des)

Analysis Time : 190.7 min

End of run : 2016/03/22 18:11:55
 Instrument : Nova Station A
 Cell ID : 26
 Adsorbate Nitrogen
 Temperature 77.350K
 Molec. Wt. : 28.013 g
 Cross Section : 16.200 Å²
 Liquid Density : 0.808 g/cc
 Relative Pressure Volume @ STP $1/[W((P_o/P) - 1)]$

| P/Po | cc/g | |
|-------------|--------|------------|
| 9.88080e-02 | 1.4208 | 6.1745e+01 |
| 1.51471e-01 | 2.8776 | 4.9634e+01 |
| 2.02104e-01 | 4.1117 | 4.9290e+01 |
| 2.52729e-01 | 5.0158 | 5.3949e+01 |
| 3.03354e-01 | 5.7394 | 6.0705e+01 |

BET summary

Slope = 3.822

Intercept = 5.429e+01

Correlation coefficient, $r = 0.052031$

C constant = 1.070

Surface Area = 59.924 m²/g

18. Volume Pori Lokasi III pada Kedalaman ±3,0 m

Quantachrome NovaWin - Data Acquisition and
Reduction

for NOVA instruments ©1994-2007,

Quantachrome Instruments version 10.01

Analysis Report

Operator:ITS

Date:2016/03/22 Operator:ITS

Date:3/28/2016

Sample ID: Mega Fisika Filename:

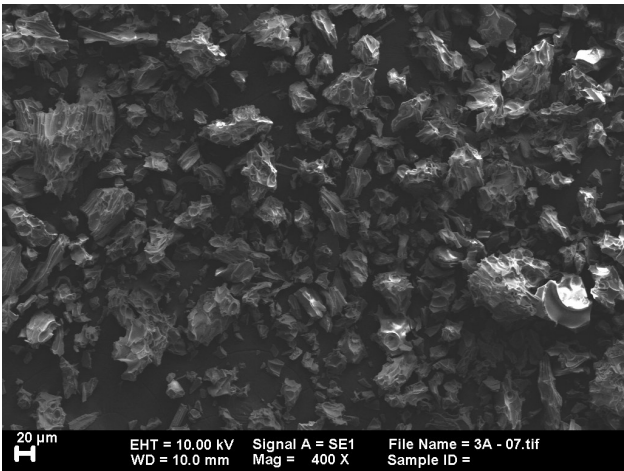
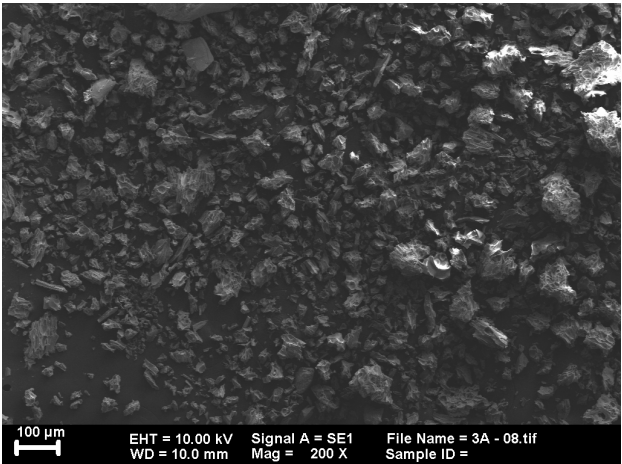
C:\QCdata\Physisorb\16032201 3B.qps

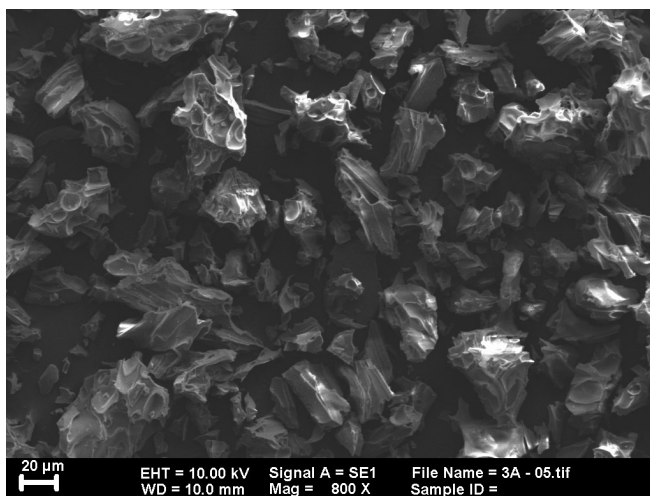
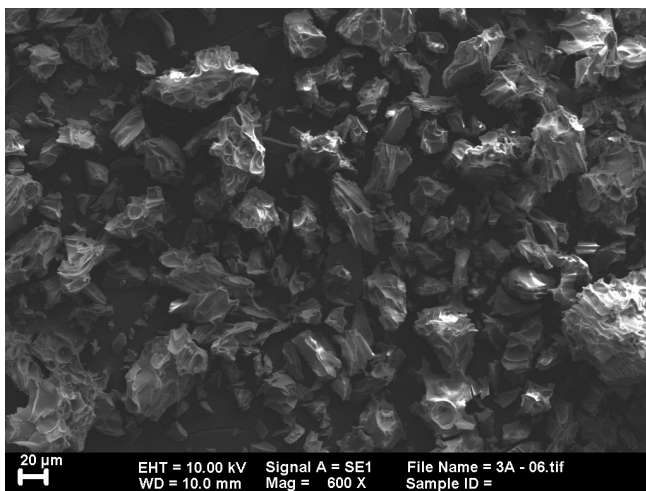
Sample Desc : Serbuk

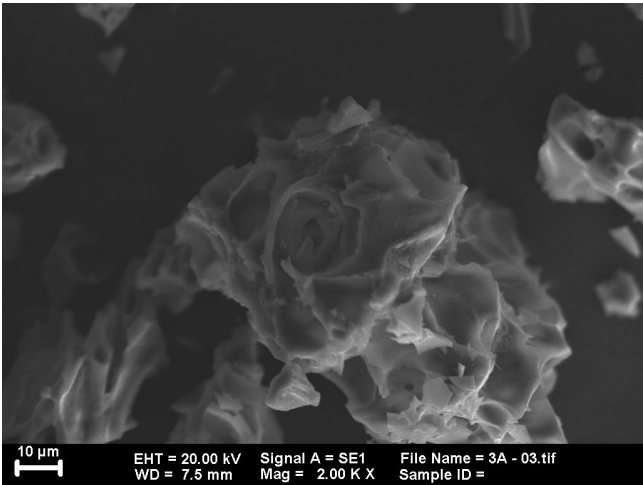
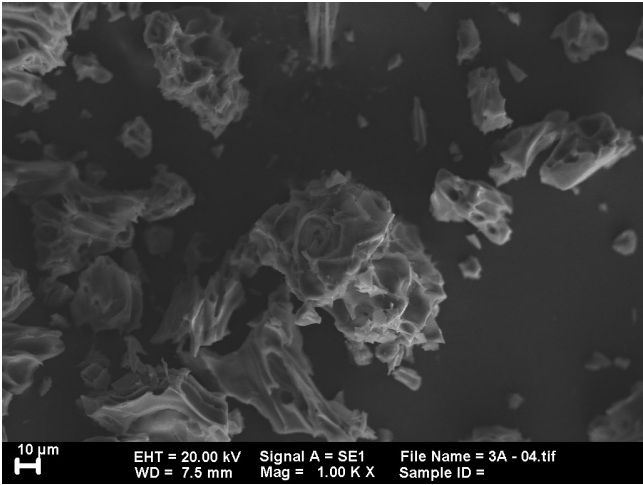
Comment : 21 Maret 2016
Sample weight : 0.0737 g
Sample Volume : 0.43407 cc
Outgas Time : 3.0 hrs
Outgas Temp : 300.0 C
Analysis gas : Nitrogen
Bath Temp : 77.3 K
Press. Tolerance : 0.050/2.000 (ads/des)
Equil time : 60/60 sec (ads/des)
Equil timeout : 120/120 sec (ads/des)
Analysis Time : 190.7 min
End of run : 2016/03/22 18:11:55
Instrument : Nova Station A
Cell ID : 26
Adsorbate Nitrogen
Temperature 77.350K
Molec. Wt. : 28.013 g
Cross Section : 16.200 Å²
Liquid Density : 0.808 g/cc
Total Pore Volume summary
Total Pore Volume
Total pore volume = 2.363e-02 cc/g
For pores smaller than 312.0 nm (Diameter)
at P/Po = 0.99382

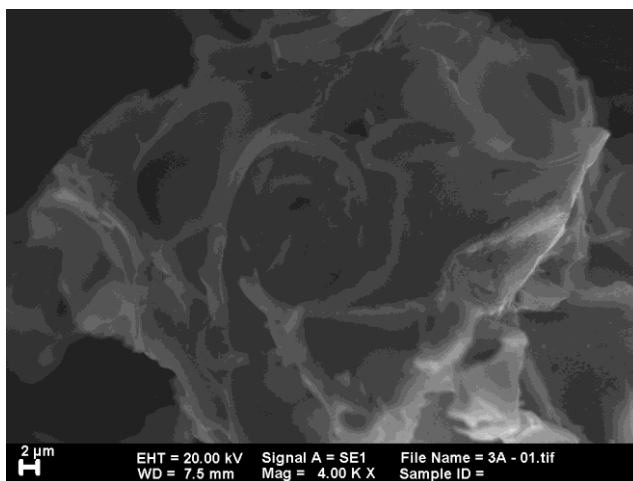
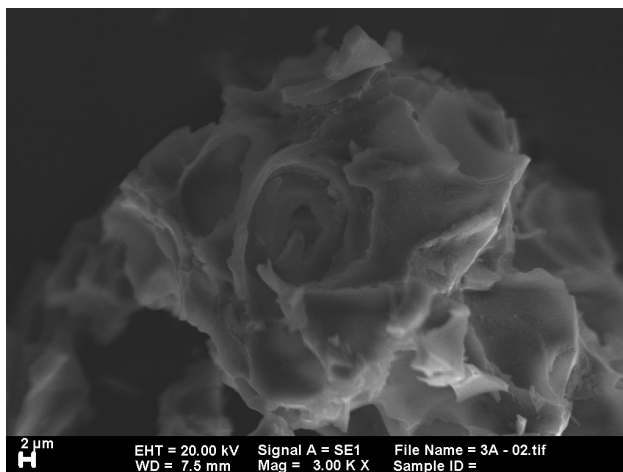
LAMPIRAN 2
MIKROGRAFI SEM

1. Morfologi sampel dari Lokasi III Tiap Perbesaran

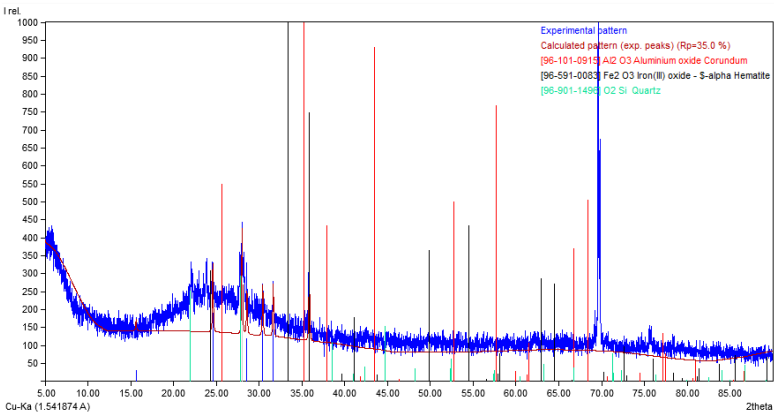








LAMPIRAN 3
HASIL ANALISIS KUALITATIF DENGAN
MENGGUNAKAN *SOFTWARE MATCH!*



BIOGRAFI PENULIS



Penulis “Mega Putri Kusumaningtyas” merupakan anak ke 2 dari 3 bersaudara yang lahir di Kota Surabaya pada tanggal 21 Januari 1994. Semasa kecil penulis menempuh pendidikan formal antara lain di TK Delta Asih Pertiwi, SD Negeri Sawotratap III, SMP Negeri 1 Waru, dan SMA Hang Tuah 2 Sidoarjo. Penulis memulai pendidikan S1 di Departemen Fisika ITS pada tahun 2012. Selama menempuh pendidikan S1 di Jurusan Fisika ITS, penulis turut serta dalam kegiatan keagamaan Forum Studi Islam Fisika (2014-2015). Selain itu, penulis juga turut berpartisipasi dalam semarak Program Kreativitas Mahasiswa (PKM) yang didanai oleh DIKTI pada tahun 2015 dan tahun 2016.

Dengan adanya tulisan Tugas Akhir ini, penulis berharap perkembangan teknologi nano yang memanfaatkan mineral alam sebagai komposisi utama. Sehingga masyarakat Indonesia dapat menikmati hasil kekayaan bumi pertiwi. Kritik dan saran dapat ditujukan ke email: megaputri2109@gmail.com.